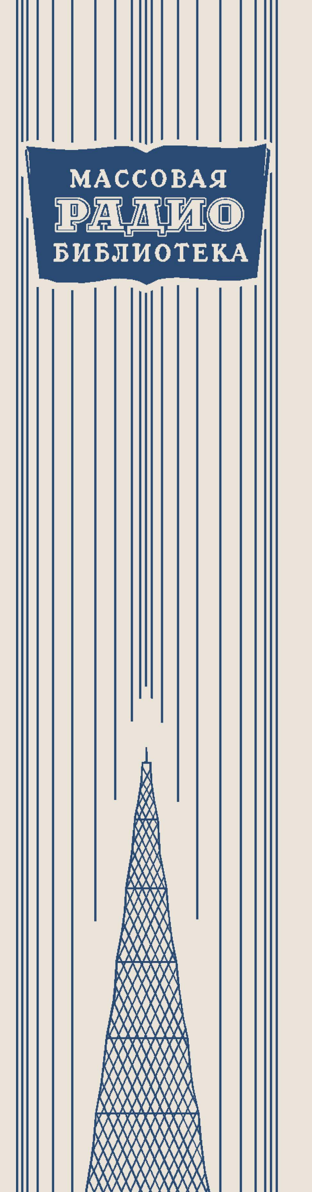


Е. А. ЛЕВИТИН

ЭЛЕКТРОННЫЕ ЛАМПЫ





ГОСЭНЕРГОИЗДАТ
1954

МАССОВАЯ РАДИОБИБЛИОТЕКА

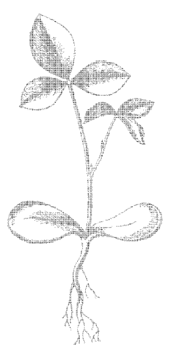
Выпуск 209

Е. А. ЛЕВИТИН

ЭЛЕКТРОННЫЕ ЛАМПЫ

Под редакцией Л. В. КУБАРКИНА

С РИСУНКАМИ Д. П. МОЩЕВИТИНА





ГОСУДАРСТВЕННОЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО

МОСКВА 1954 ЛЕНИНГРАД

В книге рассказывается о наиболее распространенных и известных электронных лампах. Основное внимание в ней уделено описанию физических процессов, на которых основана их работа. На примерах, связанных с работой электронных ламп, рассмотрены основные положения электроники.

Книга рассчитана на начинающих радиолюбителей, имеющих общеобразовательную подготовку в объеме семи классов.

Автор *Левитин Ефим Алексеевич*

Редактор *Ф. И. Тарасов* Техн. редактор *К. П. Воронин*

Сдано в набор 8/V 1954 г. Подписано к печати 15/X 1954 г.
Формат бумаги 84 × 108[1]/[32]. Печ. л. 5,33.
Т-07733. Уч.-изд л. 6. Тираж 50 000 экз. Цена 2 р. 40 к. Зак. 1212

Типография Госэнергоиздата. Москва, Шлюзовая наб., 10.



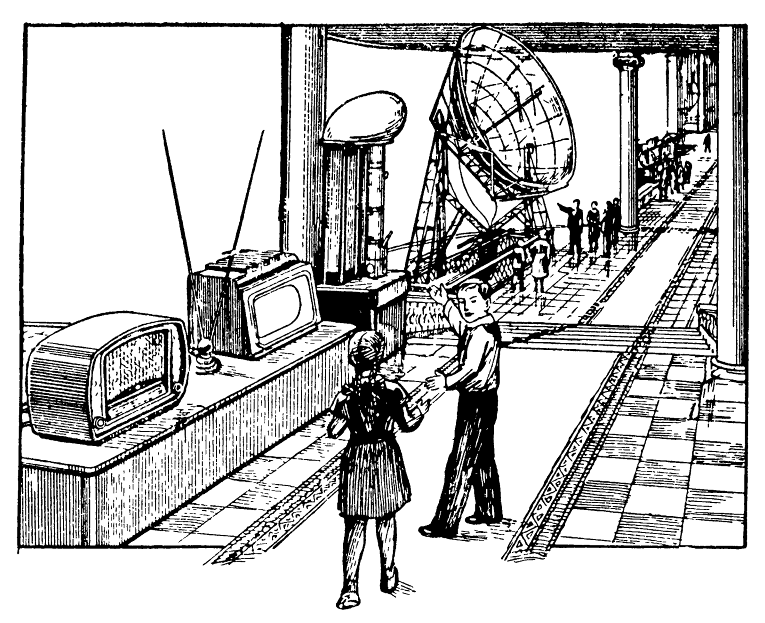
ВВЕДЕНИЕ

В течение двух последних десятков лет на страницах печати все чаще встречается название «электроника». Этим словом начали называть новую область науки и техники, являющуюся детищем радиотехники и развивающуюся необычайно быстро. В наши дни электроника стала важнейшей отраслью знания, причем ее роль и значение непрерывно возрастают. Развиваясь сама, электроника оказывает огромное влияние на развитие других областей науки и техники, способствуя их быстрому прогрессу.

Что же представляет собой электроника?

Электроника является частью электротехники — науки, изучающей и использующей электрические явления во всем их многообразии. Тот раздел электротехники, который теперь называют электроникой, можно охарактеризовать как науку, изучающую и использующую потоки электрических зарядов, распространяющихся вне проводников — в вакууме или в пространстве, заполненном каким-либо газом, а также в полупроводниках.

В соответствии с этим определением к электронным приборам относятся главным образом такие приборы, в которых цепь проводников хотя бы в одном месте прерывается и пространство между двумя проводниками электрические заряды преодолевают, двигаясь в вакууме или газе и не встречая на своем пути таких препятствий, как при движении в проводнике. Кроме того, в электронных приборах поток зарядов, перемещающихся вне проводников, в большинстве случаев определенным образом формируется и управляется.



Это обстоятельство имеет чрезвычайно существенное значение. Масса электронов и других элементарных частиц, несущих электрические заряды, столь мала, что ее почти во всех случаях можно не принимать во внимание и считать эти заряды практически лишенными массы. Благодаря этому некоторые электронные приборы можно использовать как безинерционные реле, при помощи которых можно решать задачи, не осуществимые какими-либо другими средствами. В частности, подобные электронные реле дают возможность усиления слабых электрических колебаний во много миллионов раз.

Такие изумительные достижения техники, как современная радиосвязь, телевидение, радиолокация, не могли быть осуществлены без электронных приборов. Электронные приборы дали возможность создать точнейшие измерительные устройства, послать сигналы на Луну, проникнуть в глубины микромира и увидеть молекулы, начать исследования вселенной при помощи радиотелескопов и пр. Трудно назвать такую область современной науки и техники, которая обходится без прямого или косвенного участия электроники и электронных приборов.

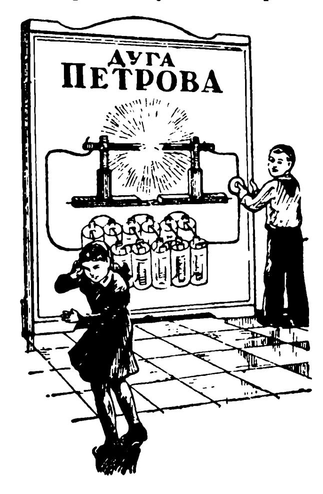
Электроника как определенная отрасль техники ведет свою историю примерно с начала нашего века, но работы,

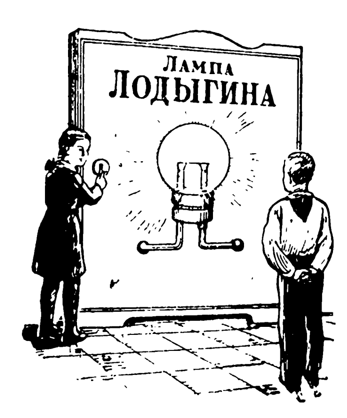
открытия и изобретения, которые привели в конце концов к ее зарождению и развитию, можно проследить на протяжении всего прошлого столетия. Огромная доля в этих подготовительных работах и в развитии непосредственно электроники принадлежит ученым нашей страны.

Первое открытие, которое может быть вписано в историю электроники, было совершено на рубеже XVIII и XIX вв. В 1802 г. профессор физики В. В. Петров, экспериментируя с построенной им большой гальванической батареей, получил электрическую дугу. Прибор для получения электрической дуги явился первым электрическим прибором, в котором был осуществлен и использован перенос электрических зарядов через пространство между проводниками не в виде случайной кратковременной искры, а как постоянный рабочий процесс.

Крупнейшими событиями в предистории электроники были изобретение в 1872 г. А. Н. Лодыгиным электрической осветительной лампы накаливания и изобретение в 1895 г. А. С. Поповым радио. Развитие радиотехники послужило тем непосредственным стимулом, который привел к созданию электронных приборов, а производство электрических осветительных ламп явилось той материальной базой, на которой электронная техника стала развиваться.

Известную роль в истории электроники сыграл и американский изобретатель Т. Эдисон. Экспериментируя в 1883 г. с лампой накаливания, он случайно заметил, что если в лампу впаять металлическую пластинку и присоединить электрическую батарею плюсом к этой пластинке, а мину-









сом к нити накала и накалить эту нить, то через пространство нить — пластинка, являющееся по существу пустым пространством, течет электрический ток. Эдисон описал это явление, запатентовал его, но объяснить сущность явления и найти ему практическое применение так и не смог.

1888 г. ознаменовался важнейшим событием в истории электроники. В этом году профессор Московского университета А. Г. Столетов открывает явление внешнего фотоэффекта. Он глубоко изучает это явление и формулирует его основные законы.

Столетов делает и первые фотоэлементы. Открытие и работы Столетова послужили основой для создания современного «электрического глаза» — фотоэлемента, столь распространенного теперь электронного прибора, и привели к развитию таких важнейших отраслей техники, как телевидение, звуковое кино, фототелеграфия, автоматика и др.

В числе основоположников электроники надо назвать Дж. Флеминга и Ли де-Фореста. Флеминг первым применил электронную лампу с двумя электродами для радиоприема (в качестве детектора), а Ли де-Форест коренным образом усовершенствовал радиолампу, введя в нее сетку.

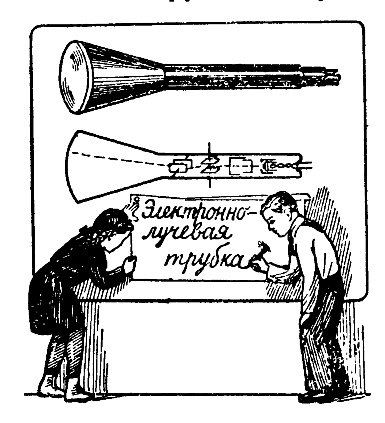
В дальнейшем развитии электроники и электронных приборов, уже определившихся как новая отрасль техники, советские ученые сыграли крупную, а во многих случаях и ведущую роль. Многочисленные и чрезвычайно плодотворные разработки в этой области выполнил один из наших виднейших радиотехников — М. А. Бонч-Бруевич. Ему, в частности, принадлежит мировой приоритет в конструировании мощных генераторных ламп с водяным охлаждением для радиопередатчиков. Предложенная проф. А. А. Чер-

нышовым идея устройства подогревного катода была использована во всех странах. Введение подогревных катодов коренным образом разрешило проблему дешевого и удобного питания аппаратуры с электронными лампами, в частности радиоприемников, от осветительной сети переменного тока.



Крупнейшее значение для развития электроники и радиотехники имело изобретение специальных ламп для сверхвысоких частот: магнетрона, идея которого была предложена М. А. Бонч-Бруевичем и осуществлена Н. Ф. Алексеевым и Д. Е. Маляровым, и отражательного клистрона, созданного В. Ф. Коваленко. Магнетроны и клистроны являются сейчас основными лампами в новой области радиотехники — технике сверхвысоких частот.

Исключительно ценный вклад сделали наши ученые и в ту отрасль электроники, которую можно назвать оптической электроникой. Начало в этом направлении положил русский ученый Л. И. Мандельштам, предложивший применить в электронно-лучевой трубке систему временной развертки и наблюдать на экране трубки ход быстрых электрических процессов. На основе этой идеи были созданы электронные осциллоскопы, роль которых в современной измерительной технике невозможно переоценить. В 1907 г. другой наш ученый Б. Л. Розинг предложил ис-





пользовать электронно-лучевую трубку для телевидения, а в 1911 г. он воспроизвел принятое простое изображение на экране электронно-лучевой трубки.

Электронные приборы, получившие в настоящее время практическое распространение, чрезвычайно многочисленны и разнообразны. В этой книге, которая является кратким введением в электронику, рассказывается главным образом о наиболее известных радиолюбителям и радиослушателям электронных лампах и об основных положениях электроники.

ЧТО ТАКОЕ ЭЛЕКТРОН

В основе электроники лежит использование потоков электронов, а иногда и других электрически заряженных элементарных частиц, движущихся вне проводников.

Что же представляет собой электрон?

Современной наукой установлено, что вещество имеет *атомное строение*. Размеры атома ничтожно малы — поперечник атома равен примерно всего одной стомиллионной части сантиметра (10^{-8} *см*). Однако, несмотря на столь малую величину, атом имеет довольно сложную структуру.

В центре атома находится *ядро*, в котором сосредоточена почти вся масса атома. В состав ядра входят частицы двух родов — *протоны* и *нейтроны*. Исключение составляет ядро самого легкого химического элемента — водорода, состоящее из одного протона. Ядро следующего по весу элемента — гелия — состоит из двух протонов и двух нейтронов. Частицы, входящие в состав ядра, удерживаются друг возле друга мощными внутриядерными силами.

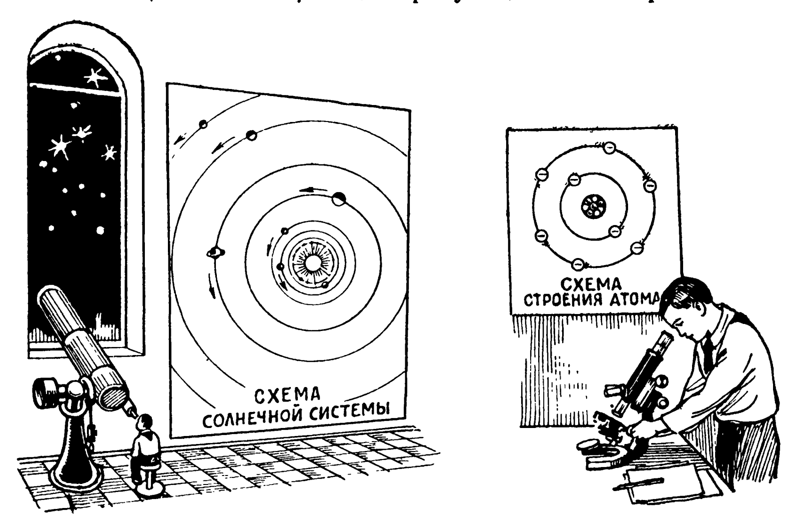
Ядро атома ни при каких химических реакциях не подвергается изменениям. Именно ядро атома определяет собой род вещества; каждому химическому элементу соответствует совершенно определенное атомное ядро.

В электрическом отношении протоны и нейтроны неодинаковы. Протоны имеют элементарный, т. е. наименьший возможный, электрический заряд положительного знака. Численно величина этого заряда равна $1{,}6 \cdot 10^{-19}$ *к* (кулона). Нейтрон не имеет никакого электрического заряда. Название «нейтрон» присвоено ему именно потому, что он электрически нейтрален.

Таким образом, заряд атомного ядра определяется числом входящих в его состав протонов. Если ядро состоит из одного протона (ядро водорода), то его заряд равен $+1$, если в ядре имеются два протона, то его заряд будет равен

+2 и т. д. Вес ядра зависит от общего числа входящих в него протонов и нейтронов. Поскольку заряд ядра зависит от числа имеющихся в нем протонов, а вес — от числа протонов и нейтронов, то, зная заряд и вес ядра, можно определить, сколько протонов и нейтронов входит в его состав.

Вокруг ядра подобно планетам обращаются мельчайшие частицы — *электроны,* образующие своего рода элек-

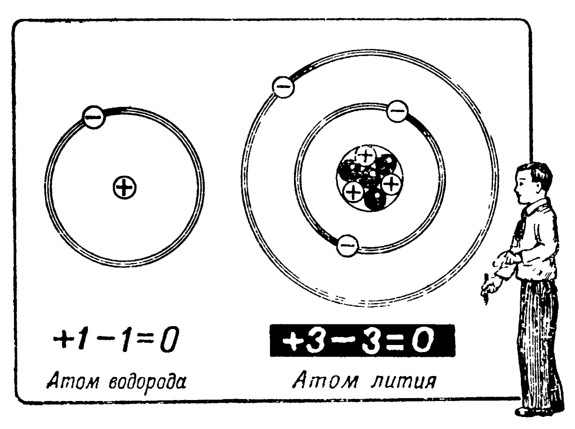


тронные «оболочки» атома, которых может быть несколько. Каждый электрон несет на себе элементарный электрический заряд, по величине равный заряду протона, но имеющий отрицательный знак. Электрон, следовательно, представляет собой наименьший возможный отрицательный заряд, наименьшее возможное количество электричества. Заряд электрона равен $1{,}6 \cdot 10^{-19}$ *к*, его масса равна $9{,}1 \cdot 10^{-28}$ *г* (грамма), его диаметр составляет примерно 10^{-12} *мм* (миллиметра). Масса как протона, так и нейтрона в 1 840 раз превышает массу электрона.

Число электронов, окружающих ядро атома, равно числу протонов, имеющихся в этом ядре. Например, ядро атома водорода состоит из одного протона, поэтому в атом водорода входит один электрон. Ядро гелия состоит из двух протонов и двух нейтронов, поэтому в электронную оболочку атома гелия входят два электрона и т. д. Каждый атом сам по себе электрически нейтрален — положительный заряд его ядра полностью уравновешивается отрицатель-

ным зарядом окружающих ядро электронов. Так как масса протона и нейтрона в 1 840 раз больше массы электрона, то практически вся масса атома заключена в его ядре. Масса электронов составляет ничтожную долю общей массы атома.

Электроны не связаны с атомом неразрывно. При известных обстоятельствах атом может терять один или несколько электронов. В случае потери электронов атом

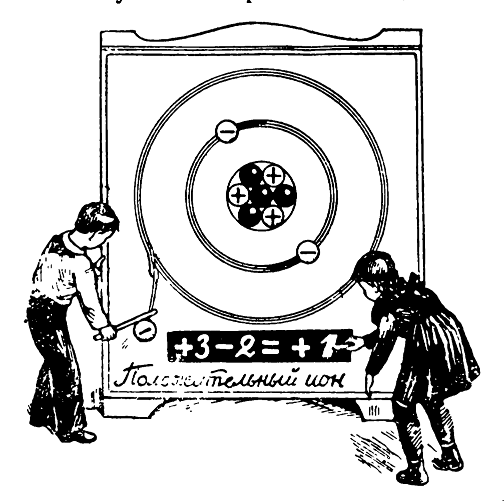


в целом оказывается заряженным положительно, потому что положительный заряд его ядра уже не уравновешивается отрицательным зарядом окружающих ядро электронов. Иногда атомы могут захватывать извне лишние электроны, тогда их заряд становится отрицательным — число электронов в электронных оболочках атома превышает число протонов в его ядре. Атомы, имеющие некомплектное количество электронов, носят название *ионов.* Атомы, у которых недостает одного или нескольких электронов, являются положительными ионами, атомы с избытком электронов — отрицательными ионами.

Ионизация атомов происходит за счет электронов, находящихся в наружной электронной оболочке. В каждой оболочке атома может находиться не больше определенного числа электронов. Например, в первой, ближайшей к ядру, оболочке может быть не больше двух электронов, во второй — не больше восьми, в третьей — не больше 18. Электроны внешней оболочки не так прочно удерживаются в системе атома, как электроны внутренних оболочек, и могут отрываться от атома, вследствие чего атом превращается в положительный ион. С другой стороны, если во

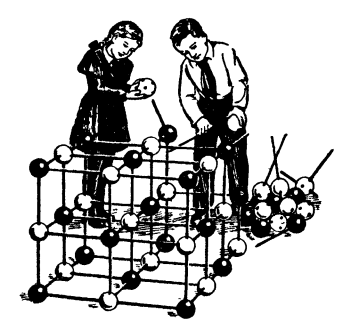
внешней оболочке атома меньше электронов, чем может быть в этой оболочке, например, если внешней оболочкой является вторая и в ней меньше восьми электронов, то такой атом может при известных обстоятельствах осуществить захват лишних электронов, и стать отрицательным ионом.

Ионизация атомов может происходить от различных причин: атомы могут ионизироваться под влиянием очень



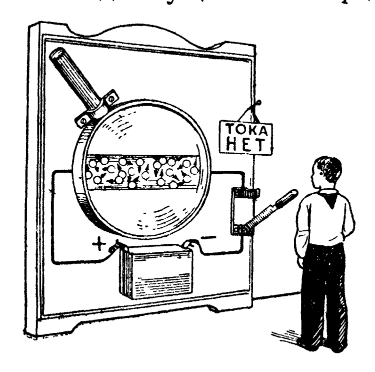
высокой температуры, под воздействием ультрафиолетовых лучей и пр. В электронных приборах чаще всего приходится встречаться с ионизацией, возникающей в результате столкновения атома с какой-либо элементарной частицей, например с электроном. Если электрон приближается к атому с большой скоростью (причем непосредственного соприкосновения между ними может и не произойти), то он может выбить из него один или несколько электронов и, следовательно, ионизировать его. При ударах меньшей силы атом не ионизируется, а полученная им энергия сообщается одному из его электронов, заставляя его перейти на более удаленную от ядра оболочку. Однако очень скоро электрон возвращается на свою оболочку, отдавая при этом избыток энергии в виде излучения. При переходе электронов, находящихся в наиболее близких к ядру оболочках, происходит излучение электромагнитных колебаний, соответствующих по частоте рентгеновским лучам. При переходе электронов с более удаленных от ядра оболочек атом излучает световые лучи.

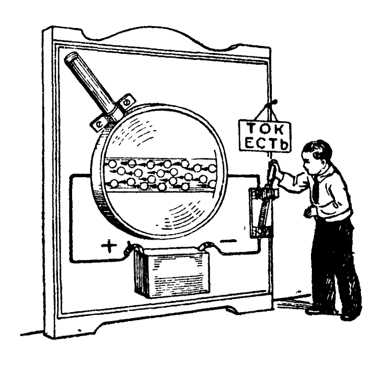
У различных веществ электроны не одинаково прочно удерживаются в системе атома. Особенно легко «теряют» свои электроны атомы металлов. Строение металлов представляет собой объемную решетку, составленную из атомов. В промежутках между атомами этой решетки беспорядочно движутся во всех направлениях огромные количества электронов, оторвавшихся от атомов. Эти электроны называют «свободными». Скорость беспорядочного хаотичного движения электронов зависит от температуры металла.



При повышении температуры она увеличивается. В любом куске металла свободных электронов столько, сколько нужно для полного уравновешивания зарядов положительных ионов — атомов, лишенных полного «комплекта» электронов. Поэтому в целом такой кусок металла не имеет заряда (электрически нейтрален).

Все явления электрического тока связаны с перемещением электрических зарядов — в большинстве случаев электронов или ионов. Электрический ток представляет собой поток движущихся в определенном направлении электри-





ческих зарядов. Любое перемещение даже одиночного электрона или иона является электрическим током, но практически движущиеся заряды обладают свойствами электрического тока только тогда, когда имеет место их *упорядоченное движение*, когда преобладающее количество имеющихся в данном объеме электрических зарядов дви-

жется в определенном направлении. Хаотическое движение зарядов, например тепловое движение электронов в металле, не проявляет себя, как электрический ток, потому что при подобном движении любому количеству электронов, перемещающихся в каком-нибудь направлении, всегда противопоставляется такое же количество электронов, движущихся в обратном направлении.

Все вещества в электрическом отношении делятся на *проводники* и *непрово́дники*. Если атомы данного вещества легко теряют электроны и эти свободные электроны имеют возможность без особых затруднений перемещаться в толще этого вещества, то такое вещество является проводником электрического тока. Лучшими проводниками являются металлы. В металлах всегда имеется огромное количество свободных электронов.

Свободных электронов в непроводниках (*диэлектриках*) практически нет, продвижение электронов в них крайне затруднено.

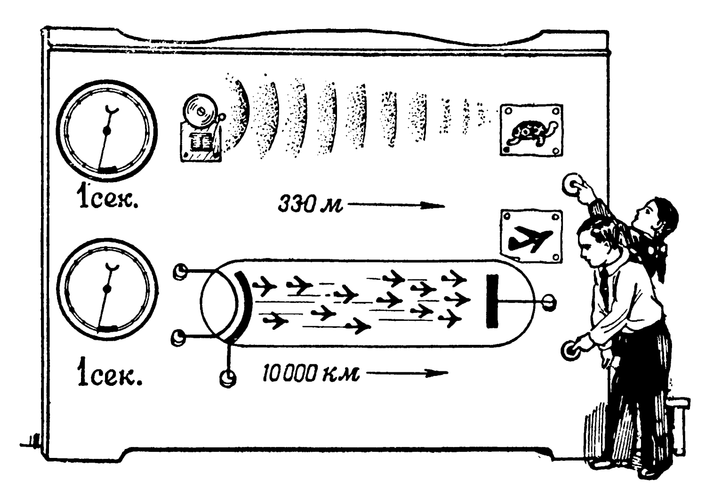
К ним относятся, например, стекло, мрамор, слюда и др.

В твердых телах электрический ток образуется почти исключительно потоками электронов. В жидкостях и газах, а также в вакууме электрический ток может создаваться потоками как электронов, так и ионов.

Величина тока определяется количеством электрических зарядов, прошедших через поперечное сечение проводника в течение 1 сек. Так как минимальным электрическим зарядом является заряд электрона, то определение величины электрического тока всегда связывается с количеством электронов, движущихся по проводнику (или вне проводника). За единицу величины (силы) электрического тока принят ампер. При токе в 1 *а* (ампер) через поперечное сечение проводника в течение секунды проходит 1 *к* электричества. Так как заряд электрона равен $1{,}6 \cdot 10^{-19}$ *к*, то 1 *к* составляют $6{,}3 \cdot 10^{18}$ электронов. Следовательно, при токе в 1 *а* через поперечное сечение проводника в 1 сек. протекают $6{,}3 \cdot 10^{18}$ электронов. Следует учесть, что такое определение ампера было сделано тогда, когда рассматривалось прохождение электронов только по проводникам. Поскольку электронике приходится иметь дело с электрическими зарядами, распространяющимися и вне проводников, то слово проводник или провод можно было бы заменить, например, словом «канал», определяющим ту часть пространства, в которой происходит перемещение электрических зарядов.

Электрический ток распространяется по проводам со скоростью света — он «пробегает» в секунду 300 000 *км*. Но это не значит, что электроны, образующие электрический ток, движутся с такой же скоростью. Электроны в проводах движутся очень медленно. Скорость их движения зависит от величины э. д. с. (электродвижущей силы), приложенной к концу проводника, и при тех напряжениях, с какими практически приходится иметь дело в радиоаппаратуре, она измеряется немногими миллиметрами в секунду. Следующий пример поможет уяснить разницу между скоростью движения электронов и скоростью распространения тока, т. е. скоростью распространения электрического поля вдоль проводника.

Представим себе длинную колонну солдат. В хвосте этой колонны стоит офицер и дает команду начать движение.



Очевидно, команда будет распространяться вдоль колонны со скоростью звука. Ближайшие к офицеру ряды начнут движение практически мгновенно, через секунду начнут двигаться ряды, отстоящие от офицера на 330 *м*, и т. д. Каждый солдат будет шагать со скоростью 4—6 *км* в час, но начало движения рядов будет передаваться по колонне со скоростью звука, т. е. около 1 200 *км* в час.

Примерно так обстоит дело и с электрическим током. Электроны движутся очень медленно, но «команда», по которой они начинают движение, передается со скоростью света.

В пространстве с разреженными газами и в вакууме электроны, не встречая таких препятствий, как в твердых телах, движутся гораздо быстрее, тут их скорость измеряется обычно тысячами и десятками тысяч километров в секунду.

Различная скорость движения электронов в металлах, в газовой среде и в вакууме объясняется неодинаковым количеством столкновений с молекулами и атомами, которые электрон встречает на своем пути. Естественно, что движение электронов в толще металла затруднено, так как им приходится «пробираться» между тесными рядами атомов, образующих пространственную решетку. В газах электроны встречают меньше препятствий на своем пути, так как столкновения с молекулами или атомами происходят гораздо реже и притом тем реже, чем больше разрежен газ. В вакууме, практически представляющем собой пространство с весьма разреженным газом, испытываемые электронами столкновения чрезвычайно редки и движение электронов происходит наиболее свободно.

ПОЛУЧЕНИЕ СВОБОДНЫХ ЭЛЕКТРОНОВ

В большинстве электронных приборов используются потоки электронов, движущихся в вакууме. Поэтому в таких приборах должно быть устройство для получения электронов вне проводников.

Электроны, нужные для работы электронных приборов, могут быть получены несколькими способами. В настоящее время практически применяются главным образом три способа.

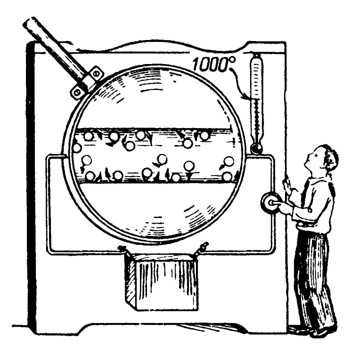
Первый из них может быть назван тепловым или термическим. Суть его заключается в следующем.

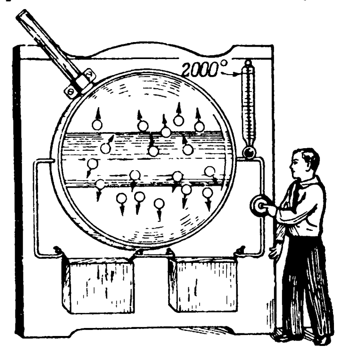
В каждом проводнике, как уже указывалось, имеется огромное количество свободных электронов. Эти электроны находятся в беспрестанном хаотическом движении, скорость которого определяется температурой проводника. С увеличением температуры скорость движения электронов возрастает. Между прочим, следует отметить, что именно свободно перемещающиеся внутри металлов электроны являются прекрасными переносчиками тепла, что и определяет высокую теплопроводность металлов.

При обычных температурах электроны, беспорядочно движущиеся среди атомов металла, не могут вылететь в окружающее пространство. Находясь внутри проводника,

электрон со всех сторон окружен другими электронами и ионами, действие которых на электрон взаимно уравновешивается, и электрон, не испытывая поэтому ни притяжения, ни отталкивания со стороны других частиц, движется сравнительно свободно.

Положение меняется, когда электрон приблизится к самой поверхности металла. Мы знаем, что атомы вещества состоят из положительно заряженных ядер, окруженных отрицательно заряженными электронами. Из этого следует,





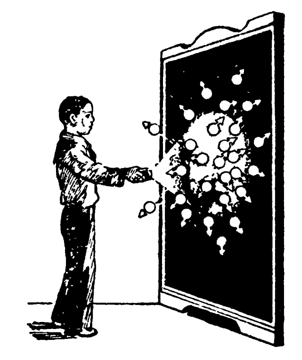
что непосредственно внешняя поверхность вещества представляет собой своего рода электронную оболочку, имеющую отрицательный заряд. Дойдя до этой оболочки, электрон испытывает ее отталкивающее действие, направленное внутрь и притягивающее действие положительных ионов, направленное тоже внутрь.

Электрон обладает хотя и небольшой, но все же определенной массой и поэтому, как каждое тело, имеющее массу, при своем движении приобретает некоторый запас энергии. Количество этой энергии зависит от скорости движения. При обычных температурах скорость электронов и, следовательно, их запас энергии недостаточны для преодоления сил, препятствующих их вылету.

При нагревании скорость движения электронов увеличивается и при известной температуре, определенной для каждого металла, она становится достаточной для преодоления противодействующих сил, и электроны начинают вылетать из проводника в окружающее пространство. Не все электроны, движущиеся в пределах проводника, имеют одинаковые скорости. Поэтому при каждой температуре только некоторая часть электронов разгоняется до скорости, достаточной для вылета. Чем выше температура, тем больше количество электронов, получающих нужную для

вылета скорость. Чистые металлы требуют нагрева примерно до 2 000° С, чтобы начался вылет электронов в заметных количествах.

Излучение проводником электронов носит название *эмиссии.* Поскольку в рассматриваемом случае эмиссия электронов возникает вследствие нагрева проводника, она называется тепловой эмиссией или термоэмиссией. Полученные этим способом электроны часто называют термоэлектронами. Для создания нужного потока электронов в электронных приборах наиболее часто используется именно *термоэлектронная эмиссия.*



Вторым способом получения потоков электронов является световой способ или фотоспособ. Способ этот основан на явлении внешнего фотоэффекта, открытого А. Г. Столетовым в 1888 г. А. Г. Столетов обнаружил, что некоторые металлы под воздействием падающих на них лучей света начинают излучать электроны. Особенно сильное излучение электронов наблюдается, например, у цезия, натрия, калия. В физике это явление получило название внешнего фотоэффекта, так как электроны при этом излучаются во внешнее пространство. В технике оно называется *фотоэлектронной эмиссией,* а полученные этим способом электроны — *фотоэлектронами.* Фотоэлектронная эмиссия используется в значительной группе электронных приборов — фотоэлементах различных типов и назначений.

Следует отметить, что в электронных приборах часто используется и обратное явление — свечение некоторых веществ под воздействием падающих на них потоков электронов — под воздействием электронной бомбардировки. Такие вещества называют люминофорами или фосфорами. К ним относится, например, минерал виллемит, светящийся зеленым светом при облучении его электронами. Виллемитом покрыты экраны общеизвестных оптических индикаторов настройки в радиоприемниках.

Фотоэлектронная эмиссия физически объясняется так. Световой поток несет определенное количество энергии. Эта энергия сообщается электронам и ускоряет их движение до такой величины, при которой они получают возможность вылета за пределы тела. Обратный эффект — свечение со-

стоит в том, что быстролетящие электроны, сталкиваясь с атомами, возбуждают их, а их возвращение в нормальное состояние, как было уже отмечено, сопровождается излучением света. Дополнительная энергия, которую электрон атома получает в результате удара, расходуется им на излучение света.

Третий способ получения электронных потоков в электронных приборах можно назвать механическим. Если на поверхность металла направить поток электронов—подвергнуть ее электронной бомбардировке, то при известной скорости ударяющихся электронов они начинают выбивать из металла некоторые из имеющихся в нем электронов. Ударяющиеся электроны называют *первичными*, выбиваемые — *вторичными*. При известных условиях, связанных со скоростью первичных электронов, каждый первичный электрон может выбить несколько вторичных, поэтому при помощи этого способа можно, используя слабый поток первичных электронов, получить более сильный поток вторичных электронов.



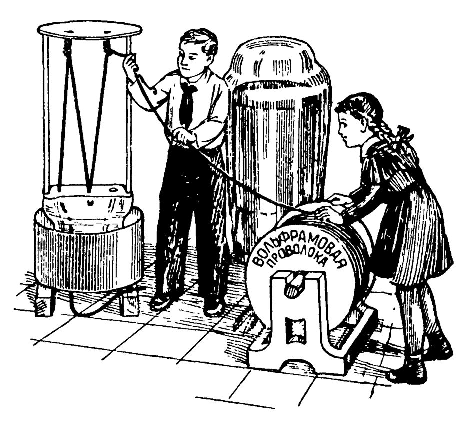
Явление это называют иногда *динатронным эффектом*, а приборы, в которых оно используется, получили название *электронных умножителей*.

Электронное умножение, естественно, может быть использовано только в сочетании с каким-либо другим способом получения электронного потока — световым или тепловым, который служит для получения первичных электронов.

Выбивание вторичных электронов может иметь место не только как явление, предусмотренное при конструировании электронного прибора и нужное для его нормальной работы, но и как явление побочное. В некоторых случаях появление вторичных электронов не приводит к какому-либо ухудшению работы прибора и с ним поэтому можно не считаться. Но иногда выбитые электронным потоком вторичные электроны нарушают нормальную работу прибора, поэтому, как будет рассказано в дальнейшем, для устранения их вредного действия приходится принимать специальные защитные меры.

КАТОДЫ

В большинстве электронных приборов нужный для их работы поток электронов получается путем нагревания металлического проводника электрическим током до такой температуры, при которой начинается электронная эмиссия. Способ нагревания проводника не имеет принципиального значения — важно лишь нагреть металл до нужной температуры, но практически проще и удобнее всего произвести нагрев, пропуская по проводнику электрический ток.



Такой проводник обычно представляет собой сравнительно тонкую металлическую проволоку, помещенную внутри баллона, из которого откачан воздух. Проволоку называют по аналогии с обычными осветительными электролампами *нитью накала.* Концы нити накала выводят из баллона наружу для соединения с источником электрического тока.

Электронная эмиссия из чистого металла начинается при температуре порядка 2 000° С. Такую температуру выдерживает, не плавясь, далеко не каждый металл. Следовательно, для изготовления нити накала нужно выбрать очень тугоплавкий металл. Кроме того, выбор металла для нити накала определяется еще его способностью вытягиваться в тонкие нити. Толщина нити накала очень важна: чем толще нить, тем больший потребуется ток для ее накала.

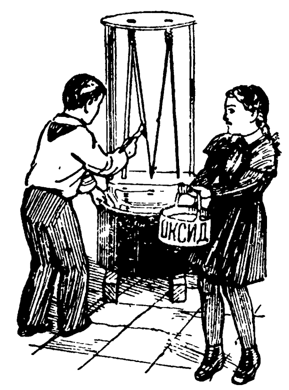
Из всех металлов наиболее подходящим для нитей накала оказался вольфрам. Вольфрам дает хорошую электронную эмиссию при температуре 2 000—2 200° С — при температуре белого каления. Такой нагрев в вакууме вольфрам выдерживает в течение очень долгого времени. Первые электронные приборы — радиолампы с вольфрамовыми нитями накала и стеклянными баллонами — во время работы ярко светили, почему их и назвали «лампами». Это название удержалось за ними до сих пор, несмотря на то, что современные радиолампы совсем не светят, часто

имеют металлический непрозрачный баллон и по внешнему виду совсем не похожи на лампы.

Чисто вольфрамовые нити накала дают удовлетворительную эмиссию, но их накал обходится довольно дорого. Наиболее экономичные электронные приборы с накаливаемой нитью из чистого вольфрама потребляли ток накала около половины ампера.

В результате ряда исследований были найдены способы резкого увеличения эмиссионной способности нагретой нити или, как говорят, способы ее активирования — повышения ее активности в отношении излучения электронов.

Один из первых способов активирования нити накала заключался в добавлении к вольфраму небольшой примеси другого металла — тория. Такие нити получили название торированных. Торированные нити уже при температуре около 1 500—1 600° С давали такую же эмиссию, как чисто вольфрамовые при температуре, превышающей 2 000° С.



Однако у торированных нитей был крупный недостаток: даже при очень небольшом перекале нити торий быстро улетучивался и нить теряла свою способность давать большую эмиссию при малом накале. Про такую нить говорят, что она потеряла эмиссию — нить цела, накаливается, но не излучает электроны.

Вскоре было найдено, что покрытие нити накала тонким слоем бария дает бо́льшую эмиссию, чем при торировании. Бариевые нити давали хорошую эмиссию при еще меньшем накале, чем торированные. Но они также отличались тем, что теряли эмиссию при перекале.

В настоящее время наибольшее распространение получили оксидированные нити накала, вольфрамовая основа которых покрыта оксидами — соединениями окислов некоторых щелочно-земельных металлов (бария, стронция). Оксидные покрытия обладают способностью весьма значительно облегчать вылет электронов из металла. Нити, обработанные таким образом, обеспечивают вполне достаточную эмиссию уже при температуре около 700—900° С, т. е. при мало заметном оранжево-красном накале. Естественно, что уменьшение температуры нагрева позволяет расходовать ток меньшей величины, т. е. повышает экономичность

питания нити. Следует отметить и то, что при снижении температуры можно делать нити более тонкими. Если же нить накаливается до очень высокой температуры, то ее нельзя делать слишком тонкой, потому что при высокой температуре, соответствующей белому накалу, металлы интенсивно распыляются, что сокращает срок службы нити.

Малый ток накала оксидированной нити дает возможность применять в качестве ее основы не только вольфрам, но и менее тугоплавкие и более дешевые металлы, например никель.

Нить накала только что рассмотренного типа является в электронных приборах излучателем электронов. В практических схемах использования этих приборов эти излучатели всегда соединяются с минусовыми цепями, почему они и называются *катодами*. Поэтому нить накала, служащую для излучения электронов, можно назвать катодом.

Функции нити, служащей для подогрева и излучения электронов, не всегда бывают объединены; другими словами, нить накала не всегда бывает катодом. Тонкие, экономичные в отношении тока накала нити очень удобно питать постоянным током — от гальванических элементов или аккумуляторов. Но для питания переменным током тонкие нити накала не годятся.

Для нормальной работы электронных приборов надо, чтобы катод все время излучал одинаковое количество электронов. Для этого его температура должна поддерживаться строго постоянной. При питании нити от батарей или аккумуляторов это условие выполняется. Но при питании нити переменным током оно уже не может быть соблюдено. Переменный осветительный ток 100 раз в секунду меняет свою величину и направление (дважды в течение каждого периода). 100 раз в секунду ток достигает наибольшей величины и столько же раз уменьшается до нуля. Совершенно очевидно, что и температура нити накала будет испытывать колебания в соответствии с изменениями величины тока, а вместе с тем будет изменяться и количество излучаемых электронов.

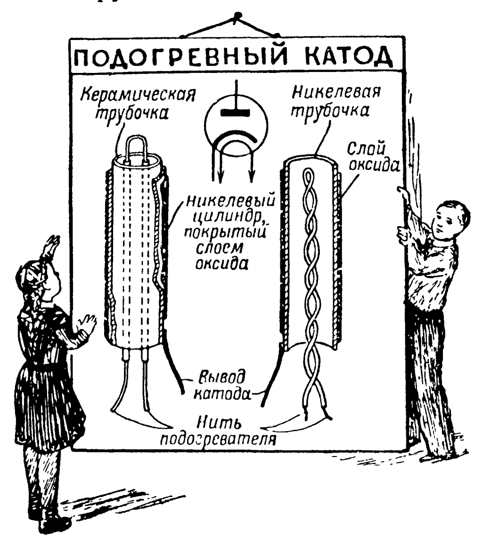
Правда, вследствие тепловой инерции нить не успеет полностью охладиться в те мгновения, когда ток переходит через нулевое значение, но все же колебания ее температуры и величины электронной эмиссии оказываются очень заметными. Это обстоятельство не позволяло раньше пользоваться таким удобным источником тока, как осветительная сеть, для питания электронных приборов, в которых

использовалась термоэмиссия электронов. Многочисленные попытки сделать нить накала пригодной для нагрева переменным током путем увеличения ее толщины были мало успешны. Полное решение этого вопроса дала лишь реализация предложения нашего ученого А. А. Чернышова об устройстве *подогревного катода.*

Подогревные катоды в настоящее время применяются во всем мире. Большая часть электронных приборов всех типов предназначена для питания от осветительной сети переменного тока и имеет подогревные катоды.

В подогревных катодах нить накала уже не является источником, излучающим электроны. Непосредственный излучатель электронов изолирован от нити и лишь подогревается ею. Отсюда и произошло название «подогревный» катод. Масса излучателя делается достаточно большой для того, чтобы он не успевал охладиться во время уменьшения величины подогревающего тока. Само собой понятно, что такие катоды не могут давать эмиссию немедленно после включения тока накала. Их разогрев занимает примерно от 15 до 30 сек.

Конструкции подогревных катодов бывают различны, но принцип их устройства в общем одинаков. Иногда подогреватель выполняется в виде керамической трубочки диаметром около миллиметра с двумя сквозными каналами по ее длине. В эти каналы пропускается подогревная нить. В более современных конструкциях слой теплостойкой изоляции на-

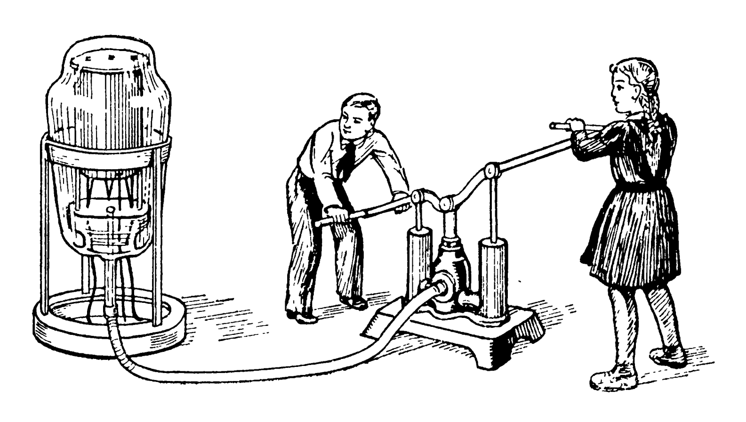


носится непосредственно на нить подогревателя. На подогреватель надевается цилиндрик из никеля, покрытый снаружи слоем оксида, являющийся собственно излучателем электронов или катодом. У таких катодов имеются три вывода — два от концов подогревающей нити и один от излучателя. Первые два обычно называются выводами нити накала, а третий — выводом катода. Эмиссия подогревного катода совершенно равномерна.

Если излучателем электронов является сама нить накала, то такой катод иногда называют *катодом прямого накала*, если же нить только подогревает излучатель, то подобное устройство часто называют катодом косвенного подогрева или *косвенного накала*.

Нагретый до нужной температуры катод излучает электроны. Однако, если этот катод помещается в воздухе или каком-либо газе, находящемся под давлением нормальным или близким к нормальному, то вылетевшие из катода электроны встречаются с колоссальным количеством окружающих катод молекул и атомов газа и практически не могут пролететь в такой среде сколько-нибудь значительное расстояние. Использовать поток электронов в подобных условиях нельзя. Поэтому излучающие катоды помещают в специальные баллоны — стеклянные или металлические, из которых откачан воздух, в которых, как говорят, создан вакуум.

Современные технические средства не позволяют полностью откачать газ из баллонов, но все же достижимые степени вакуума вполне достаточны для нормальной работы электронных приборов. Обычно разрежение газов в баллонах электронных приборов достигает 10^{-7} *мм* рт. ст., что



соответствует давлению в 10 млрд. раз меньше атмосферного. В среде столь разреженного газа электроны распространяются практически беспрепятственно. При движении внутри лампы не больше чем один электрон из миллиона встречается на своем пути с молекулой газа.

УПРАВЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОННЫМ ПОТОКОМ

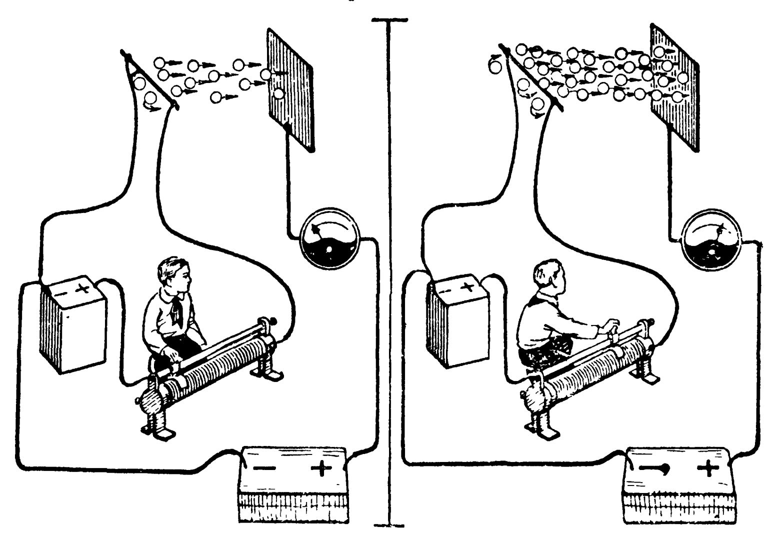
Потоком электрически заряженных частиц — электронов или ионов — называется упорядоченное движение какого-то количества этих частиц в определенном направлении. Понятие потока в данном случае противопоставляется понятию хаотического движения частиц в разные стороны, в котором отсутствует какая-либо преимущественная направленность. Чтобы внести полную ясность в понятие «поток», следует отметить, что оно вовсе не означает обязательное движение всех образующих его частиц в одном и том же направлении. Например, электроны, излучаемые катодом, не движутся в одном направлении, они разлетаются от катода во все стороны в направлениях, примерно перпендикулярных поверхности катода в точках их вылета. Но это движение есть движение упорядоченное — движение от центра к окружности.

Как можно управлять таким потоком? Очевидно, тремя способами: увеличением или уменьшением числа движущихся частиц, изменением скорости их движения и изменением направления их движения. Последнее действие может быть двояким: можно изменять направление движения всего потока в целом и можно изменять направление движения отдельных частиц так, чтобы поток становился сходящимся, расходящимся или параллельным. Изменение направления всего потока в целом называется его *отклонением*, а преобразование потока в параллельный, сходящийся или расходящийся пучок называется *фокусированием*.

Таким образом, под термином «управление потоком заряженных частиц» мы будем понимать изменение числа движущихся частиц (изменение интенсивности или «густоты» потока), изменение их скорости, их отклонение и фокусировку. Эти способы управляющего воздействия на поток заряженных частиц могут применяться как порознь, так и в различных сочетаниях.

Наиболее просто осуществить управление электронным (ионным) потоком путем увеличения или уменьшения эмиссии излучателя (катода). Этим способом можно изменять

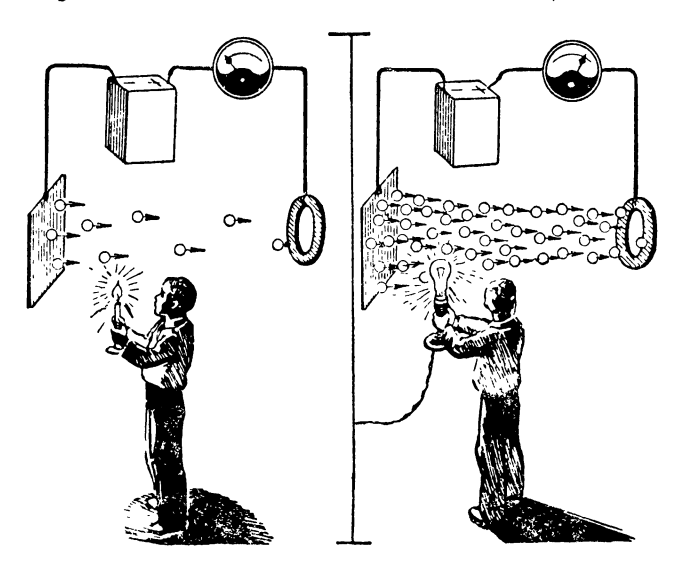
число электронов в потоке, т. е. его величину. Например, в тех электронных приборах, в которых электронный поток получается путем нагревания катода, величина потока зависит от температуры катода. При увеличении тока накала нагрев катода увеличится и эмиссия возрастет. При уменьшении тока накала температура катода понизится и число вылетающих из него электронов станет меньше.



Управление электронным потоком путем изменения его величины широко используется в электронных приборах с фотоэмиссией. Величина эмиссии в этих приборах зависит от степени освещенности фотокатода. Работа большинства приборов этого рода основана на изменении величины эмиссии и, следовательно, величины электронного потока в соответствии с изменением освещения катода.

Этот же способ управления применяется и в тех приборах, в которых используется вторичный электронный поток, созданный в результате электронной бомбардировки металла. Здесь управление вторичным электронным потоком сводится к изменению его величины посредством выбивания большего или меньшего количества вторичных электронов. В численно наибольшей группе электронных приборов с термоэмиссией подобный способ управления электронным потоком не применяется. Объясняется этом тем, что между изменениями величины подогревающего катод тока и температуры катода происходит значительное запаздывание,

тогда как изменение величины эмиссии фотокатода или величины вторичного потока электронов следует за изменениями освещенности или величины первичного потока электронов практически без всякого запаздывания, а это имеет



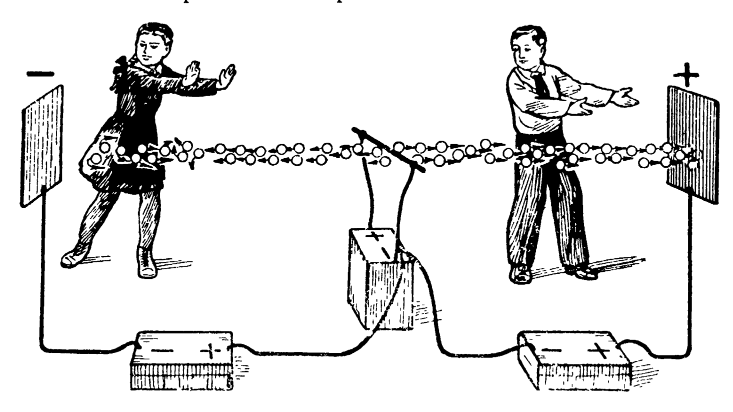
исключительно важное значение для работы электронных приборов.

Управление электронными и ионными потоками очень удобно производить при помощи электрического и магнитного полей.

Электрон является частицей отрицательного электричества. Как известно, между электрическими зарядами различных знаков наблюдается определенное взаимодействие — разноименные заряды притягиваются друг к другу, а одноименные отталкиваются друг от друга. Поэтому электроны притягиваются к телам, заряженным положительно, и отталкиваются от тел, заряженных отрицательно. Совершенно так же в соответствии со знаком своего заряда ведут себя и ионы, поэтому мы в дальнейшем будем говорить только об электронах.

Между положительно и отрицательно заряженными телами существует электрическое поле. Направление и характер движения электрона в таком поле зависят от скорости электрона и от того, под каким углом он движется по отношению к силовым линиям поля.

Если электрон движется параллельно силовым линиям по направлению к положительно заряженному телу, то его скорость будет возрастать, а направление движения останется без изменения. При движении в обратном направлении, т. е. к отрицательно заряженному телу, скорость движения электрона будет уменьшаться. При известных соотношениях начальной скорости электрона и силы поля электрон может быть остановлен, после чего он начнет двигаться в обратном направлении — к положительно за-



ряженному телу. В практических конструкциях электронных приборов на пути летящих электронов часто помещают проводники в форме сеток, на которые подается заряд того или иного знака и величины. Если на эти проводники подан положительный заряд, то электроны будут им разгоняться и с большой скоростью пролетят через ту решетку или сетку, которую образуют собой проводники. Если на проводники подан отрицательный заряд, то движение электронов будет замедляться. При достаточной величине заряда электроны могут быть совсем остановлены, после чего они начнут двигаться в обратном направлении.

Результат действия отрицательно заряженных проводников, находящихся на пути электронного потока, зависит от величины заряда и скорости электронов. Обычно скорость отдельных электронов не бывает одинакова. Даже слабого заряда на проводниках сетки бывает достаточно, чтобы оттолкнуть наиболее медленные электроны и, следовательно, уменьшить число электронов, пролетающих сквозь сетку. При увеличении отрицательного заряда сетка будет отталкивать обратно все больше и больше электронов. При некотором определенном заряде ни один из электронов не

сможет преодолеть отталкивающее действие сетки: поток будет приостановлен.

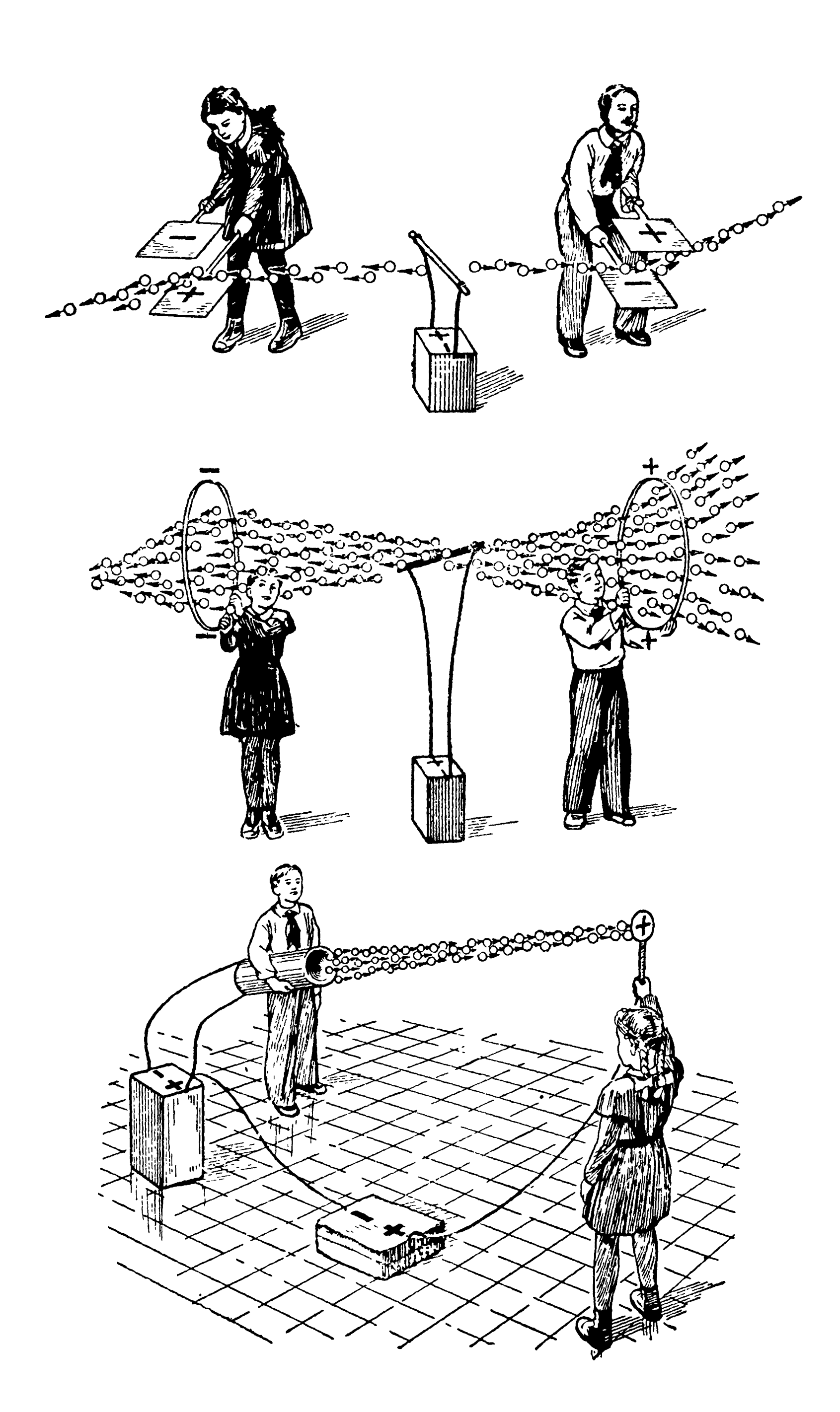
Если электроны движутся перпендикулярно силовым линиям электрического поля, то направление их движения изменяется, поток электронов приближается к положительно заряженному телу и удаляется от отрицательно заряженного. Конечный результат зависит от силы поля и скорости электронов. При малой скорости электронов их поток будет полностью остановлен и электроны окажутся притянутыми положительно заряженным телом. При относительно большой скорости потока и слабом поле электроны не будут притянуты, но направление их движения будет в той или иной степени изменено, а именно приблизится в сторону положительных зарядов.

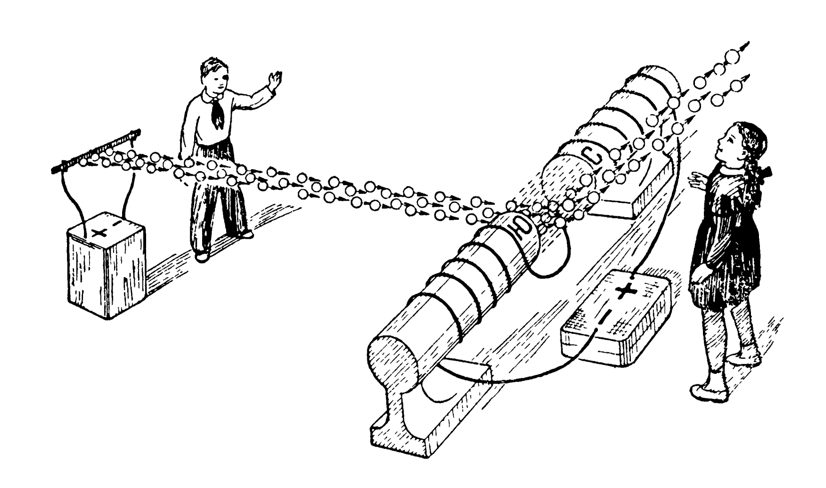
При помощи электрического поля можно и фокусировать поток электронов. Если поток электронов движется между двумя проводниками, заряженными отрицательно, то электроны будут сжиматься к центру потока, поток будет уплотняться, концентрироваться. Если поток электронов будет пропущен между положительно заряженными проводниками, то он под влиянием их притяжения станет расходящимся (разумеется, если скорость электронов слишком мала, то они просто будут притянуты к положительно заряженным проводникам).

Осуществить фокусировку электронного потока можно и другим способом. Если, например, излучатель электронов будет иметь вогнутую форму, а положительно заряженный электрод невелик по размерам, то поток электронов примет форму сходящегося пучка. Наоборот, при малых размерах излучателя и большом положительно заряженном электроде поток электронов будет расходящийся.

Таким образом, используя электрические поля различного направления и интенсивности, располагая на пути потока электронов различной формы электроды с зарядами соответствующего знака, можно менять величину электронного потока (число электронов в потоке), скорость и направление движения электронов, осуществляя как их отклонение, так и фокусировку.

Управлять электронным потоком можно и при помощи магнитного поля. На электроны, летящие вдоль магнитных силовых линий, магнитное поле не действует. Но если электрон влетает в магнитное поле под каким-то углом к его силовым линиям, то направление движения электрона изменяется.



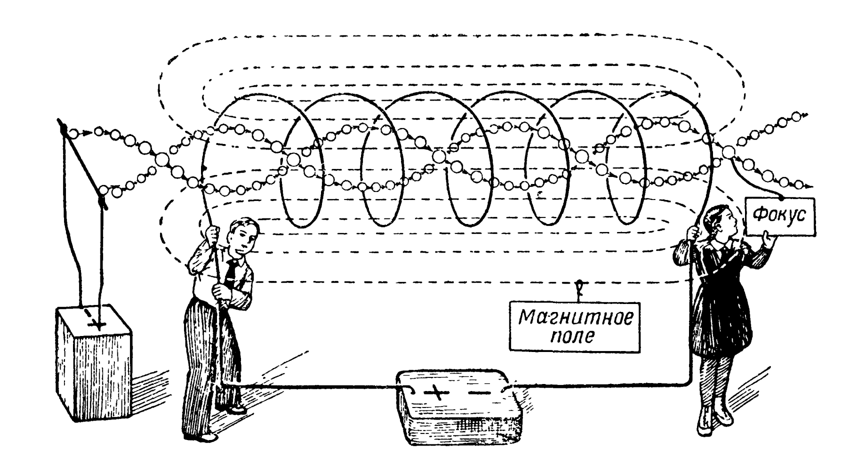


Электрон, влетающий в магнитное поле под прямым углом к его силовым линиям, испытывает отклоняющее действие в направлении, перпендикулярном силовым линиям магнитного поля и направлению движения электрона. Это отклоняющая сила стремится вытолкнуть электрон из силового поля. Для отклонения электронного потока на его пути помещают магнитное поле, которое в зависимости от направления силовых линий отключает электронный поток в ту или иную сторону. Изменением величины поля, очень легко осуществимым при применении электромагнитов, можно изменять угол отклонения электронного потока.

Магнитным полем можно осуществить и фокусировку электронного потока. Если направить расходящийся электронный поток в магнитное поле соленоида (катушки), то электроны начинают двигаться по спиралям, которые при определенных условиях сходятся в одной точке. Эти условия обеспечиваются подбором скорости электронного потока и интенсивностью магнитного поля соленоида.

Как видно из сказанного, существует много способов управления электронным потоком. В реальных электронных приборах применяются все перечисленные способы, и часто в одном и том же приборе используется в различных сочетаниях несколько способов управления электронным потоком.

Основной характерной чертой управления электронным потоком является необычайная быстрота реакции последнего. Изменение управляющего напряжения или управляющего поля сопровождается практически мгновенным изменением



интенсивности или направления электронного потока. Именно это обстоятельство и придает электронным приборам те чудесные свойства, которые обеспечили им широчайшее применение во всех областях науки и техники.

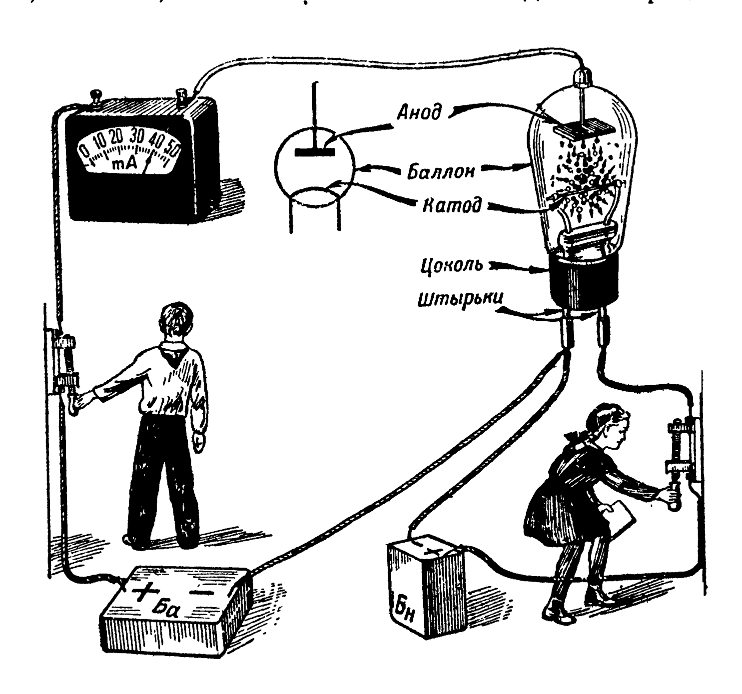
ЭЛЕКТРОННЫЕ ЛАМПЫ

ДИОДЫ

Основной и крупнейший раздел электронных приборов составляют электронные лампы. В электронных лампах используются потоки электронов, излучаемых нагретыми катодами. Применяя различные способы управления электронным потоком, можно при помощи этих ламп решать различные задачи, из которых главнейшими являются выпрямление переменных токов, усиление переменных токов, генерирование переменных токов и преобразование переменных токов одной частоты в переменные токи другой частоты.

Особенностью электронных ламп является их пригодность для работы с переменными токами различнейших частот, до самых высоких включительно. Благодаря практическому отсутствию у электронов инерции электронный поток без запаздывания реагирует на изменение управляющих напряжений, поэтому электронные лампы могут работать при таких высоких частотах, какие недоступны каким-либо другим устройствам.

Простейшей электронной лампой является *диод*. Слово «диод», основой которого служит греческий корень «ди» — два, означает, что в этой лампе имеются два электрода.



Первый из этих электродов нам уже знаком — это катод, служащий для получения потока электронов и необходимый в каждой электронной лампе, к какому бы типу она ни относилась. Вторым электродом является металлическая пластинка — анод. Таким образом, диод — двухэлектродная электронная лампа — представляет собой стеклянный или металлический баллон, из которого выкачан воздух и внутри которого находится катод и анод. От этих электродов сквозь стенки баллона проходят выводы. Если баллон стеклянный, то выводы впаиваются в стекло. Если же баллон металлический, то выводы можно сделать, например, через стеклянные бусинки, впаянные в металл. От анода делается один вывод. От катода делаются два вывода. В случае катода прямого накала выводы делают от концов нити. Если катод подогревный, то от него делают три вывода — два от подогревающей нити и один — от излучающего слоя, т. е. от собственно катода.

Внутри баллона лампы создается очень высокий вакуум, вполне достаточный для того, чтобы электроны могли беспрепятственно вылетать из раскаленного катода. Поэтому, если катод диода нагреть до нужной температуры, то начнется электронная эмиссия и электроны образуют вокруг катода своего рода электронное облачко. Образование этого облачка объясняется тем, что электроны, вылетающие из катода, испытывают отталкивающее действие со стороны ранее вылетевших электронов, поэтому они не могут отлететь на значительное расстояние от катода. Часть электронов, имеющих наименьшие скорости, падает обратно на катод. В конце концов электронное облачко стабилизуется — на катод падает столько же электронов, сколько из него вылетает. Облачко представляет собой запас свободных электронов в вакууме, пригодный для использования.

Второй находящийся в баллоне диода электрод — анод предназначается для использования электронов, вылетающих из катода, и для управления ими. С этой целью к катоду и аноду лампы подводится электрическое напряжение, например, от батареи.

Очевидно, это напряжение можно подвести к лампе двумя способами: минус источника напряжения к катоду и плюс к аноду или наоборот. Если мы присоединим плюс источника напряжения к катоду, а минус к аноду, то электроны, вылетающие из катода и сконцентрированные в окружающем его электронном облачке, не будут использованы. Отрицательно заряженный анод будет отталкивать электроны.

Иначе будет обстоять дело тогда, когда мы присоединим плюс источника напряжения к аноду, а минус — к катоду и одновременно в цепь батареи включим миллиамперметр. При таком присоединении миллиамперметр отметит прохождение тока. Этот ток будет течь по следующей цепи: батарея — катод лампы — пространство между катодом и анодом лампы — миллиамперметр — батарея. Ток в цепи возникает тогда, когда плюс батареи присоединен к аноду, а минус — к катоду. Этим и объясняется название второго электрода лампы: «анод» (в электротехнике анодом принято называть электроды, соединенные с положительным полюсом источника тока, а катодом — соединенные с отрицательным полюсом). В соответствии с этим текущий через лампу ток, образованный потоком электронов, несущихся от катода к аноду, называют *анодным током*. Анодный ток обозначается обычно символом I_x, а напряжение на

аноде — символом U_a. В отличие от него напряжение накала лампы обозначается символом $U_н$.

Чем же определяется величина I_a?

Чтобы ответить на этот вопрос, произведем такой опыт. Раскалим катод до нужной температуры и будем подавать на анод положительное напряжение, начиная с самого небольшого и постепенно увеличивая его. При каждом изменении анодного напряжения будем по миллиамперметру отмечать величину тока в цепи. Если мы затем по записанным отсчетам построим график, откладывая на горизонтальной оси величины напряжения на аноде, а на вертикальной — соответствующие величины анодного тока, то получим кривую, подобную показанной на стр. 35.

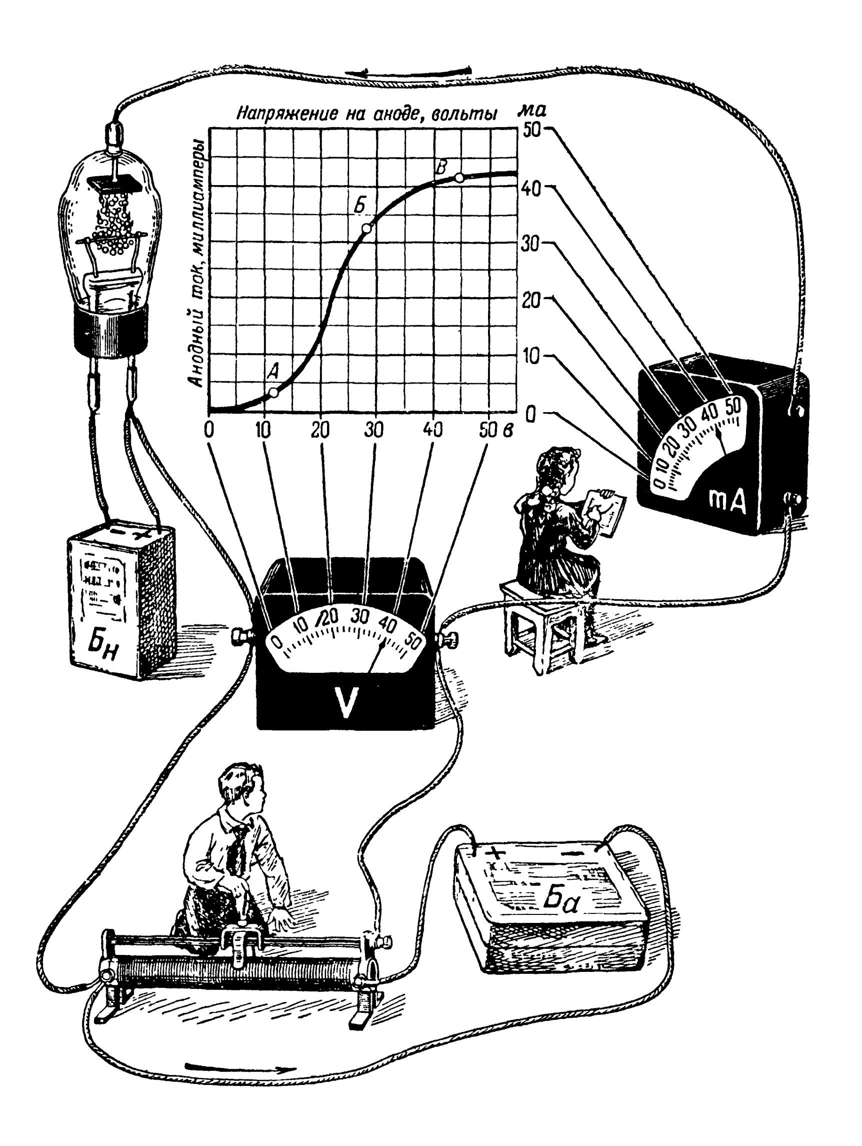
При отсутствии анодного напряжения, т. е. при $U_a = 0$, электроны к аноду не притягиваются, анодный ток будет равен нулю ($I_a = 0$). Анодный ток возникнет после того, как на анод будет подано положительное напряжение. По мере его увеличения анодный ток будет возрастать, причем рост его вначале до точки *А* идет медленно, а затем быстрее. Такое быстрое возрастание тока продолжается, пока он не достигнет некоторого значения, соответствующего точке *Б*. При дальнейшем повышении анодного напряжения рост анодного тока замедляется. Наконец, в точке *В* он достигает наибольшей величины. Дальнейшее повышение анодного напряжения уже не сопровождается увеличением анодного тока.

Кривая, показывающая зависимость величины анодного тока двухэлектродной лампы от напряжения на ее аноде, называется характеристикой лампы и служит для технических расчетов, связанных с использованием лампы.

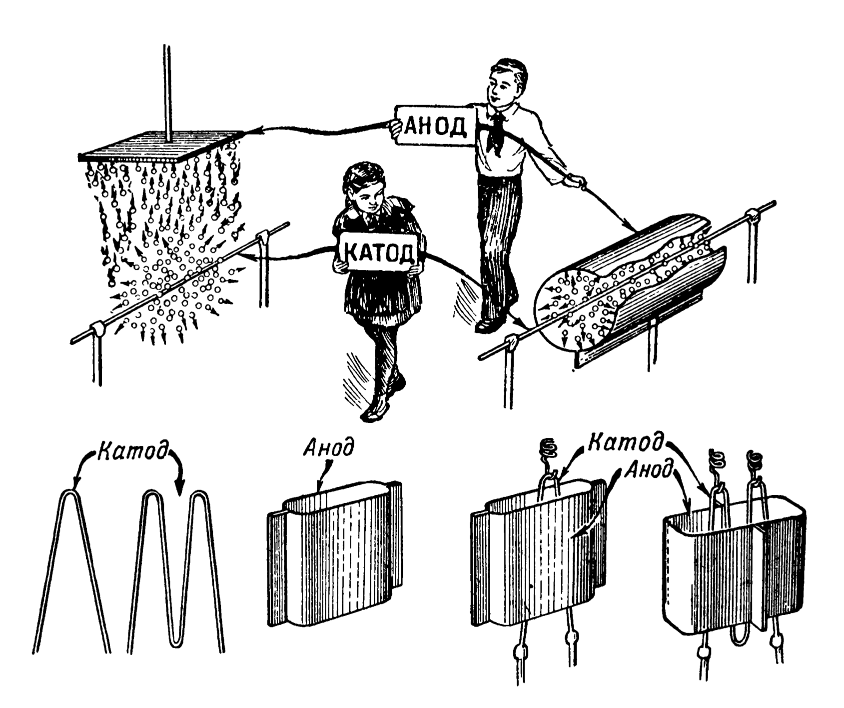
Чем же объясняется такая форма характеристики диода?

Чтобы понять это, проследим за происходящими в лампе процессами.

Вначале при отсутствии напряжения на аноде все излучаемые катодом электроны скапливаются вокруг него, образуя электронное облачко. При появлении на аноде небольшого положительного напряжения некоторые электроны, обладающие большей скоростью, чем остальные, начинают отрываться от облачка и устремляются к аноду, создавая небольшой анодный ток. По мере увеличения анодного напряжения все большее количество электронов будет отрываться от облачка и притягиваться анодом. Наконец, при достаточно большом напряжении на аноде все элек-



троны, окружающие катод, будут притянуты, электронное облачко совершенно «рассосется». Этот момент соответствует точке *В* характеристики лампы. При таком анодном напряжении все вылетающие из катода электроны будут немедленно притягиваться анодом. Дальнейшее увеличение анодного тока при данной величине накала невозможно.



Для этого нужны дополнительные электроны, а их взять негде. Вся эмиссия катода исчерпана.

Анодный ток такой величины, какая устанавливается при полном использовании всей эмиссии катода, называется *током насыщения*. Увеличить этот ток можно только одним способом — повысить накал катода, но этот способ не применяется, потому что он сокращает срок службы катода.

До сих пор мы говорили об аноде, как о металлической пластинке, находящейся внутри баллона лампы и имеющей вывод наружу. Делать анод действительно в виде пластинки было бы невыгодно, так как катод излучает электроны во всех направлениях, а пластинку можно поместить только с одной его стороны. В практических конструкциях диодов анод обычно имеет форму цилиндра, окружающего катод. При таком устройстве лампы все излучаемые катодом электроны с одинаковой силой притягиваются анодом.

Цилиндрическая форма анода наиболее выгодна тогда, когда катод имеет прямолинейную форму. Если катод имеет вид латинских букв V или W, что часто делается для увеличения его длины, то анод оказывается более выгодным

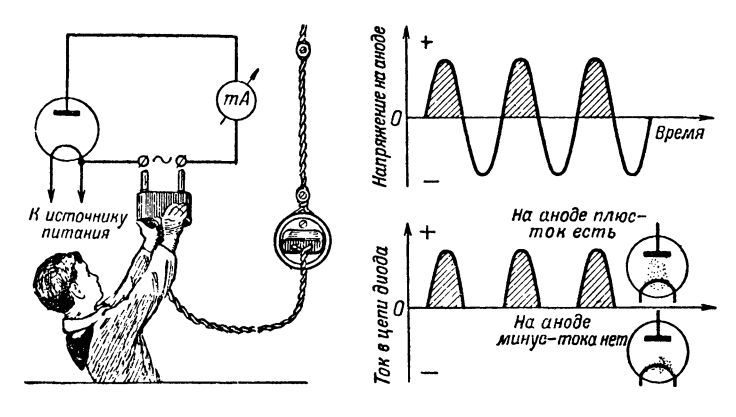
делать в виде коробки без двух противоположных боковых стенок. Такой анод в сечении имеет прямоугольную форму, часто с закругленными углами. Электроды лампы крепятся внутри ее баллона на стеклянной стойке при помощи держателей. Для удобства пользования лампой к ее нижней части прикрепляется цоколь из изоляционного материала, снабженный металлическими ножками-штырьками. Эти штырьки при установке лампы в аппарат входят в гнезда ламповой панельки, чем и достигается, с одной стороны, крепление лампы в аппарате и, с другой, соединение электродов лампы с нужными частями схемы. Электроды лампы соединяются со штырьками выводными проводничками, впаянными в стеклянную стойку (см. стр. 77).

Для каких же целей может быть использована двухэлектродная лампа?

Возможности использования этой лампы определяются ее основным свойством — способностью пропускать ток только в одном направлении, так как движение потока электронов возможно в лампе лишь от катода к аноду. Это свойство диода, которое иногда называют *односторонней проводимостью,* является весьма ценным, оно позволяет использовать диод для преобразования переменного тока в постоянный или, как чаще говорят, для выпрямления переменного тока. Способность диода выпрямлять переменный ток широко используется в радиоаппаратуре, в частности, эта способность диода вместе с применением подогревного катода позволила разрешить проблему питания радиоаппаратуры от осветительной сети переменного тока.

Схема использования диода как выпрямителя переменного тока очень проста. Между катодом и анодом включен источник переменного тока. Понять процессы, происходящие в этой схеме, лучше всего при помощи графика, показанного на стр. 38. Верхняя часть графика изображает напряжение источника переменного тока. Оно изменяется периодически с определенной частотой; характер изменения может быть выражен кривой, носящей название *синусоиды.* С такой же частотой изменяется и напряжение на аноде лампы относительно ее катода. В течение половины каждого периода напряжение на аноде будет положительным, а в продолжение второй половины периода — отрицательным. Положительные полупериоды на графике заштрихованы.

Во время положительных полупериодов на аноде лампы будет положительное напряжение и через лампу будет течь



ток. Во время отрицательных полупериодов, когда анод заряжается отрицательно, электроны отталкиваются от анода и ток через лампу не течет. Измерительный прибор, включенный в анодную цепь лампы, будет регистрировать отдельные импульсы или толчки тока, по одному в течение каждой положительной половины периода, следовательно, число таких импульсов в секунду окажется равным частоте переменного тока.

Нормально в цепи переменного тока происходит, как известно, движение электронов то в одну, то в другую сторону. Так как движение электронов представляет собой электрический ток, то можно сказать, что в такой цепи ток течет попеременно то в одну, то в другую сторону. Но если в цепь переменного тока включен диод, то характер движения электронов (тока) изменяется. Ток будет течь лишь в одну сторону, но отдельными импульсами или толчками. Во время каждого периода будет один толчок тока. Эти толчки будут чередоваться с промежутками, в течение которых тока не будет.

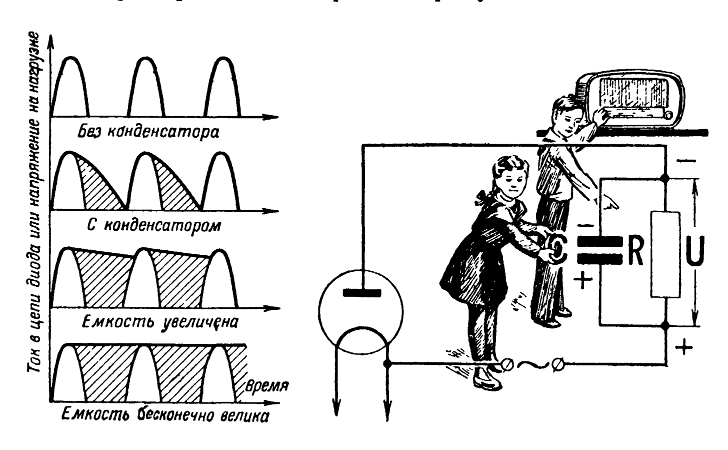
Если источником переменного тока является осветительная сеть, то частота его равна 50 *гц*. 50 раз в секунду на аноде диода окажется положительное напряжение и по цепи пройдет толчок или импульс тока. Такой ток называется *пульсирующим*, в данном случае частота пульсации равна 50 *гц*.

Выпрямление осветительного переменного тока является одним из весьма распространенных примеров применения диода. Диоды, предназначенные для этой цели, получили даже специальное название — *кенотронов*. В радиоаппаратуре с питанием от сетей переменного тока, и в частности

в сетевых радиоприемниках, применяют чаще всего кенотронные выпрямители.

Однако кенотронный выпрямитель такого простого типа, какой был нами только что описан, лишь в сравнительно редких случаях пригоден для использования. Его недостаток состоит в том, что он дает пульсирующее напряжение. Чтобы разобраться в этом явлении, представим себе, что в цепь нашего выпрямителя включен какой-то потребитель тока — приемник, усилитель или какой-либо другой аппарат. В технике принято называть потребителей, пользующихся энергией из какой-нибудь цепи, нагрузкой. В соответствии с этим сопротивление R, олицетворяющее собой нагрузку, называется сопротивлением нагрузки, нагрузочным сопротивлением, а иногда для краткости и просто *нагрузкой.*

При прохождении тока через сопротивление нагрузки R на нем образуется падение напряжения U. Знак и величина этого напряжения зависят от направления и величины тока. Поскольку пульсирующий ток в цепи диода течет всегда в одном направлении, то знак напряжения на нагрузке будет постоянным, но величина его окажется переменной. В течение положительного полупериода переменного тока напряжение на нагрузке будет возрастать, доходить до наибольшего значения, затем уменьшаться до нуля. Во время отрицательного полупериода переменного тока напряжения на нагрузке вообще не будет. Следовательно, в итоге на нагрузке создастся пульсирующее напряжение, то появляющееся, то снова исчезающее. Между тем для питания большинства приборов и аппаратов требуется постоянное на-



пряжение, знак и величина которого строго постоянны. Поэтому пульсирующее напряжение, которое дает наш простейший выпрямитель, надо превратить в постоянное, надо, как говорят, сгладить пульсации. Такое сглаживание производится при помощи специальных фильтров.

Простейшим фильтром является конденсатор C, присоединенный параллельно нагрузке R. Во время прохождения по цепи импульса выпрямленного тока конденсатор этот зарядится напряжением, равным по величине наибольшему падению напряжения на нагрузке. Когда ток в цепи начнет уменьшаться, падение напряжения на сопротивлении R должно было бы точно так же уменьшаться. Но наличие конденсатора меняет картину. При уменьшении величины тока в цепи конденсатор начнет разряжаться через сопротивление нагрузки, поддерживая этим самым в нагрузке ток такого же направления. Поэтому при разряде конденсатора на сопротивлении нагрузки образуется падение напряжения такого же знака, как и при прохождении выпрямленного тока.

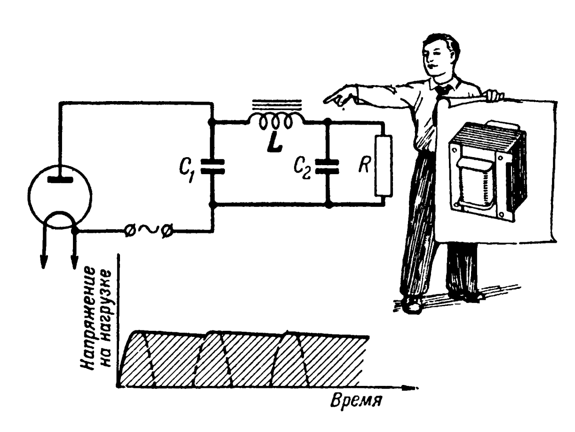
По мере разряда конденсатора напряжение на его обкладках будет постепенно уменьшаться до тех пор, пока он не разрядится окончательно. Вместе с этим будет постепенно уменьшаться и падение напряжения на сопротивлении нагрузки.

Такая компенсация уменьшения напряжения может быть показана графически. Незаштрихованная часть кривой представляет собой ток, полученный в результате выпрямления. Он является пульсирующим. Заштрихованная часть кривой представляет собой ток, образованный за счет разряда конденсатора. Хотя ток и остается пульсирующим, но характер пульсаций изменился. Периоды, когда ток отсутствует, исчезли, хотя величина тока все же уменьшается очень значительно. Заряд, накопленный на конденсаторе, позволил заполнить просветы между импульсами выпрямленного тока.

Чем больше емкость конденсатора, тем больше и его заряд и, следовательно, тем дольше он сможет поддерживать ток в нагрузке. Если емкость конденсатора достаточно велика, то он не успевает разрядиться до нуля за время отрицательного полупериода переменного тока, и поэтому ток в нагрузке не прекратится, а лишь уменьшится. Если бы емкость конденсатора была бесконечно велика, то конденсатор вообще не успевал бы разрядиться и напряжение на нагрузке оставалось постоянным. Поэтому на практике

всегда стремятся сколь возможно увеличивать емкость конденсатора фильтра.

Дальнейшее улучшение сглаживающих свойств фильтра достигается путем введения в него дросселя L — катушки с стальным сердечником, обладающей большой индуктивностью, и второго конденсатора C_2. Дроссель обладает свойством препятствовать нарастанию и убыванию тока в цепи и поэтому способствует сглаживанию пульсации



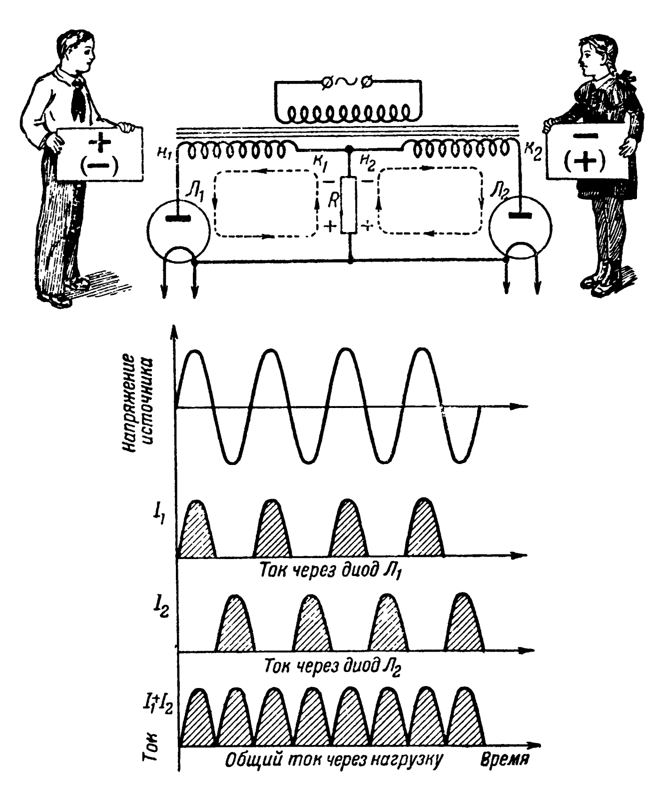
выпрямленного тока. Назначение второго конденсатора C_2 такое же, как и первого C_1. В результате действия такого фильтра на нагрузке получается постоянное напряжение, практически лишенное пульсации. В фильтрах недорогих аппаратов, потребляющих небольшой ток, вместо дросселей иногда применяют сопротивления.

В рассмотренной нами схеме выпрямителя кенотрон пропускал ток в течение одного полупериода. Второй полупериод не использовался. Можно значительно улучшить выпрямитель, включив в схему не один кенотрон, а два. Проследим, как будет проходить выпрямленный ток в такой схеме.

Переменное напряжение на аноды ламп будем подавать через трансформатор, вторичная обмотка которого имеет от середины отвод, соединенный с катодами. Напряжение на концах этой обмотки будет периодически изменяться относительно ее средней точки — в течение одной половины периода оно будет положительным на одном конце и отрицательным на другом. Во время второй половины периода полярность будет обратной.

Как же будут в таких условиях работать кенотроны?

Пусть в некоторый начальный момент напряжение на конце обмотки $н_1$, а следовательно, и на аноде кенотрона $Л_1$ положительно. Кенотрон $Л_1$ будет пропускать ток, который пройдет по сопротивлению нагрузки R и создаст на нем падение напряжения, полярность которого показана на схеме. На аноде второго кенотрона в это время будет минус, и ток в его цепи не возникнет.

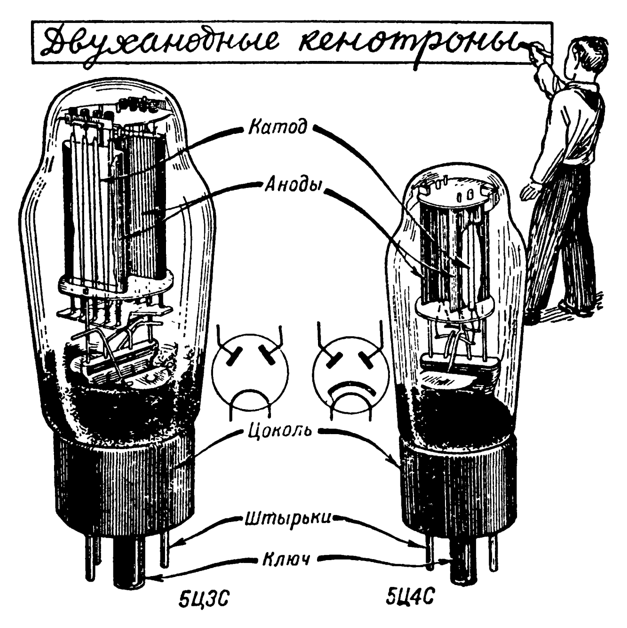


В следующий полупериод картина изменится. Положительное напряжение появится на аноде лампы $Л_2$. Ток через лампу $Л_1$ прекратится, он потечет уже через лампу $Л_2$. Но направление тока в нагрузке от этого не изменится. Как в первой, так и во второй половине периода ток будет «выходить» из одного из концов обмотки, проходить через тот или иной кенотрон и «возвращаться» через нагрузку в середину обмотки. Ток в нагрузке в течение обеих половин периода будет одинакового направления.

Такая схема выпрямления называется *двухполупериодной* в отличие от первой, рассмотренной нами, которую называют *однополупериодной*.

На схеме, которую мы только что рассматривали, показаны два диода — два одноанодных кенотрона. Нельзя ли упростить устройство и заменить две лампы одной?

Сделать это можно. Из схемы видно, что катоды обеих ламп соединяются вместе, значит, у этих ламп может быть

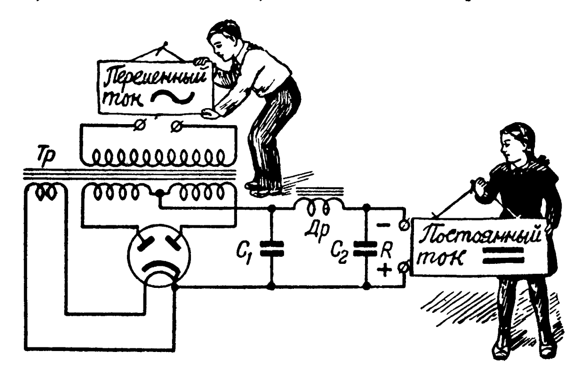


один общий катод. Аноды у ламп должны быть отдельные, потому что они присоединены к двум различным точкам обмотки трансформатора. Следовательно, можно сделать лампу, у которой будет один катод и два анода, одна эта лампа заменит два отдельных диода.

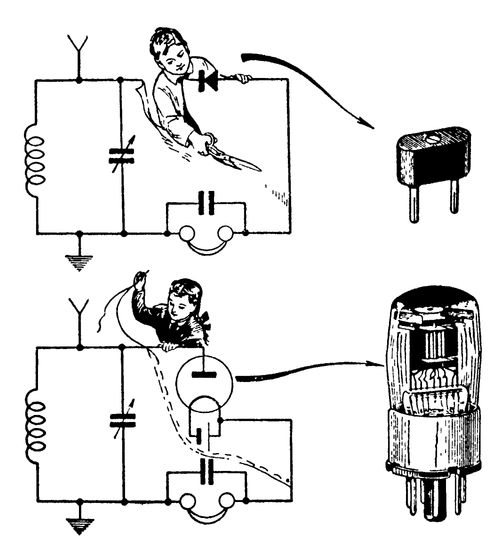
Большинство кенотронов имеет два анода, почему их и называют *двуханодными кенотронами*. Такие кенотроны работают в выпрямителях наших радиоприемников. Наиболее распространены кенотроны 5Ц4С и 6Ц5С. Но выпускаются и одноанодные кенотроны. Например, в телевизорах для выпрямления очень высокого напряжения применяются одноанодные кенотроны 1Ц1С.

Полная практическая схема двухполупериодного выпрямителя несложна. Выпрямитель состоит из трех частей:

трансформатора, кенотрона и фильтра. У трансформатора три обмотки — сетевая, включающаяся в осветительную сеть, накала кенотрона, с которой соединяется нить накала кенотрона, и повышающая, с концов которой подается на-



пряжение на аноды кенотрона. Она обычно содержит больше витков, чем сетевая, и напряжение на ней выше напряжения сети.



Применение диодов не ограничивается выпрямлением переменнсго тока для питания радиоаппаратуры. Диоды могут выпрямлять токи высокой частоты, т. е. применяться для так называемого *детектирования*. Выше показано, как

в детекторном приемнике можно заменить кристаллический детектор диодом.

Фактически в детекторных приемниках диоды для детектирования не применяются, так как это значительно усложнило бы приемник и привело бы к необходимости применения батареи накала. Но зато в ламповых радиоприемниках для детектирования применяются почти исключительно диодные детекторы. Кроме того, диоды применяются в приемниках для устройства автоматических регулировок и некоторых других целей.

ТРИОДЫ

Электронные лампы приобрели свои исключительно ценные свойства лишь после того, как в диод был введен третий электрод — *сетка*. Введение в диод сетки коренным образом изменило весь характер работы лампы и открыло перед ней огромные возможности. Сетка помещается между катодом и анодом.

Название «сетка» объясняется тем, что в первых триодах этот электрод действительно представлял собой сетку или решетку. В дальнейшем сетку начали делать в виде проволочной спирали, окружающей катод, но первоначальное название «сетка» удержалось за этим электродом до настоящего времени.

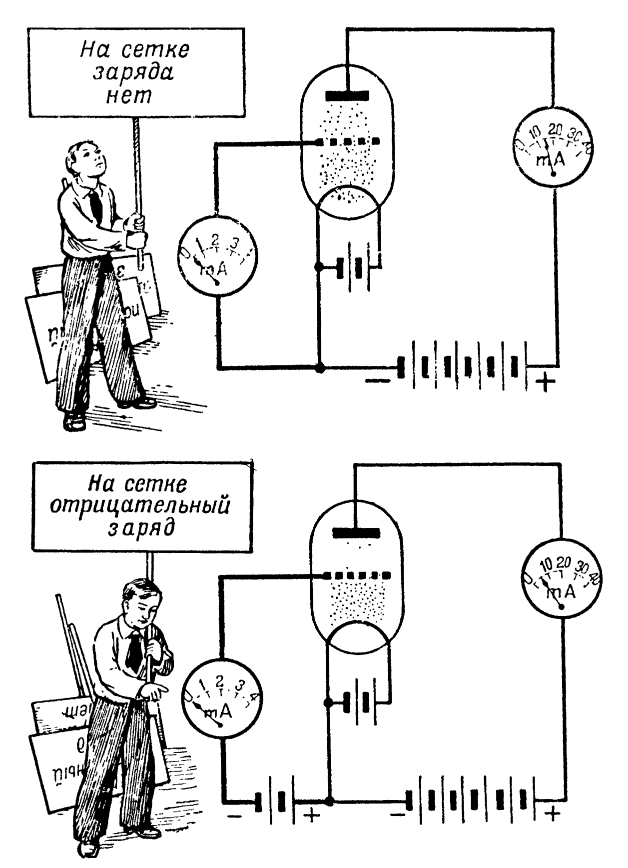
Какую же роль выполняет сетка?

Работа триода, как всякой электронной лампы, основана на существовании электронного потока между катодом и анодом. Сетка находится между этими электродами, поэтому электроны, устремляющиеся от катода к аноду, встречают ее на своем пути.



Разумеется, сетку нельзя рассматривать как механическое препятствие для электронов. Промежутки между витками сетки, как бы густа она ни была, всегда будут огромны по сравнению с размерами электронов. Если, например, представить себе электрон в виде футбольного мяча, то расстояния между витками сетки в том же масштабе будут равны расстоянию между планетами нашей вселенной.

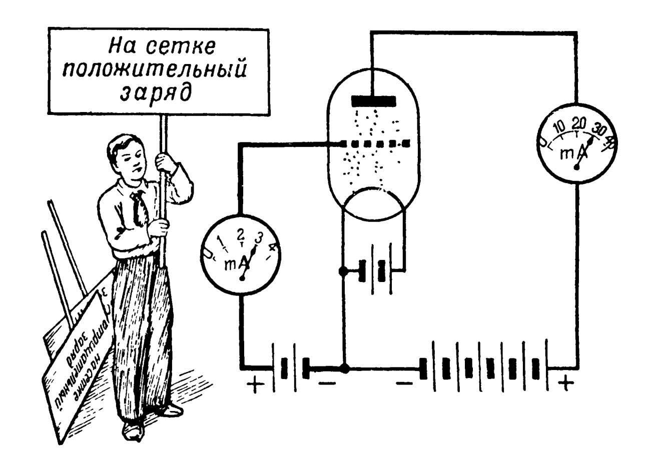
Сетка, как и другие электроды, имеет вывод наружу. Посмотрим, изменится ли что-либо в работе лампы, если вывод сетки присоединить к катоду. При таком соединении сетка приобретет потенциал катода. Между сеткой и катодом не будет никакого электрического поля, поэтому витки сетки не окажут действия на электроны, летящие от катода к аноду. Возможно, что отдельные электроны, столкнувшись с витками сетки, застрянут на них. Но в этом случае сетка зарядится отрицательно по отношению к катоду и излишние электроны немедленно стекут с нее на катод по соединительному проводнику, выравнивая, таким образом, потенциалы сетки и катода.



Положение резко изменится, если сообщить сетке какой-либо потенциал относительно катода. Осуществить это можно, включив, например, между катодом и сеткой батарею.

Если батарея окажется включенной так, что сетка зарядится отрицательно, то она начнет отталкивать летящие электроны обратно к катоду. Если в анодную цепь лампы включен измерительный прибор, то он зарегистрирует уменьшение анодного тока. Прорываться к аноду сквозь сетку смогут лишь те электроны, которые обладают достаточно большой энергией, т. е. достаточно большой скоростью.

При большом отрицательном напряжении на сетке даже те электроны, которые обладают наибольшей скоростью, не смогут преодолеть ее отталкивающее действие и будут



повернуты назад к катоду. Анодный ток прекратится. Лампа, как говорят, будет «заперта».

Если батарею (которую мы назовем сеточной) присоединить так, что сетка будет заряжена положительно относительно катода, то возникшее между катодом и сеткой электрическое поле станет ускорять движение электродов. В этом случае прибор в цепи анода покажет увеличение анодного тока. Теперь смогут достигать анода и те электроны, которые при вылете из катода обладали малой скоростью и без помощи сетки не смогли бы преодолеть путь до анода.

Чем выше положительный потенциал сетки, тем больше она способствует увеличению скорости электронов, излучаемых катодом. В соответствии с этим возрастает и анодный ток. При этом, разумеется, некоторая часть электронов притягивается и к сетке, но при правильной конструкции лампы количество этих электронов невелико по сравнению с общей эмиссией катода. Подавляющее число электронов вследствие притяжения сеткой получает столь большое ускорение, что проскакивает через промежутки между ее витками и устремляется к аноду, притяжение которого еще больше ускоряет их. Лишь те электроны, которые на своем пути сталкиваются непосредственно с витками сетки или оказываются в непосредственной близости от них, притянутся к сетке и создадут в ее цепи ток, получивший название сеточного тока.

Однако по мере увеличения напряжения на сетке количество притягиваемых ею электронов увеличивается, и

при большом напряжении сеточный ток может стать очень большим.

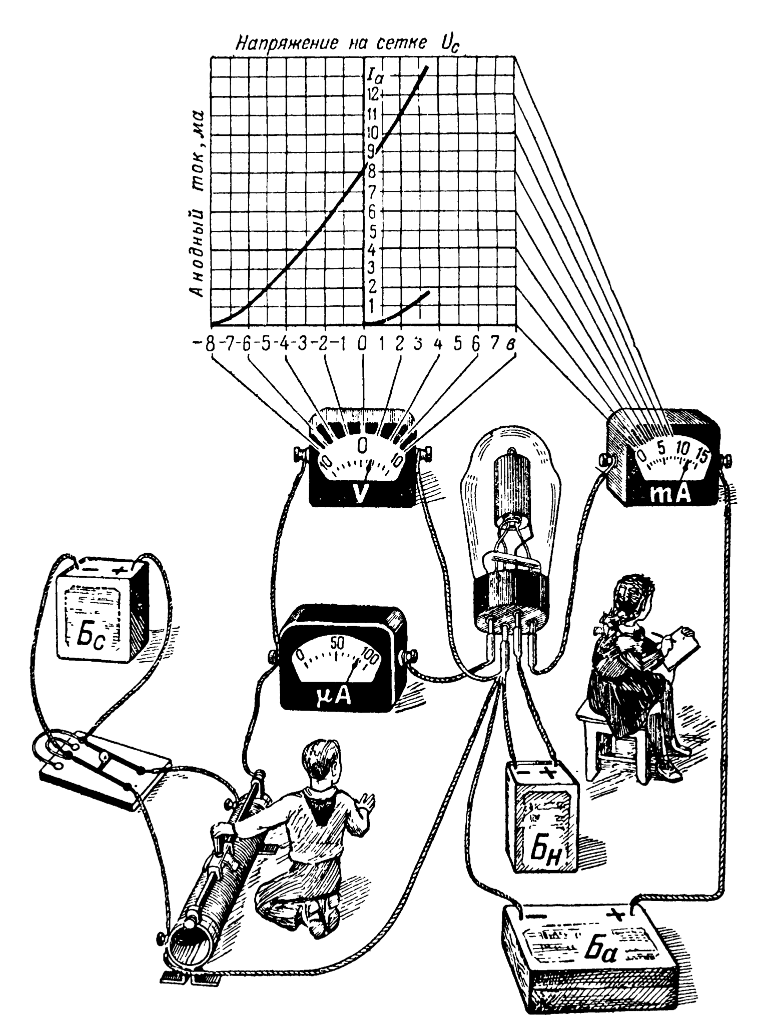
Процессы, происходящие в цепях анода и сетки трехэлектродной лампы, можно наглядно показать при помощи графика. На горизонтальной оси графика откладывается сеточное напряжение в вольтах, а по вертикальной — величина анодного тока в миллиамперах. Точка пересечения осей, т. е. начало координат, соответствует нулевому потенциалу сетки. Вправо от нее откладывается положительное напряжение, влево — отрицательное.

Для получения данных, нужных для построения графика, соберем схему, которая даст возможность изменять по желанию напряжение на сетке при неизменном напряжении на аноде и, разумеется, при неизменном напряжении накала. Отложив на графике величины анодного тока, соответствующие различным значениям напряжения на сетке, в виде кривой, мы получим так называемую *характеристику триода*, показывающую зависимость анодного тока лампы от величины и знака напряжения на сетке.

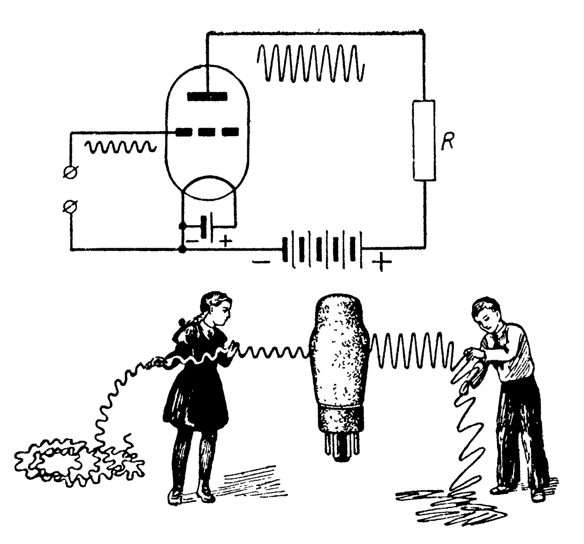
При некотором отрицательном напряжении на сетке анодный ток прекращается — становится равным нулю. Эта точка считается началом характеристики, так как достаточно самого малого уменьшения отрицательного напряжения на сетке, чтобы анодный ток возник. На приведенном для иллюстрации графике этой точке соответствует напряжение на сетке, равное — 8 *в*.

На графике изображена и характеристика сеточного тока, который начинается примерно при нулевом напряжении сетки и возрастает по мере увеличения положительного напряжения на ней. Влево от нуля, в области отрицательных напряжений на сетке, ток в ее цепи отсутствует. Однако анодный ток в этой области имеется и величина его зависит от значения отрицательного потенциала сетки. Сетка управляет величиной анодного тока, не потребляя на себя никакого тока, т. е. не потребляя энергии. Она ведет себя как электрическая заслонка, регулирующая доступ электронов к аноду лампы, но не расходующая энергии на свою работу. Это обстоятельство вместе с уже отмеченным ранее мгновенным изменением величины анодного тока при изменениях напряжения на сетке представляет собой замечательную особенность электронных ламп с сеткой, обеспечивающую им самые разнообразные применения.

На использовании управляющего действия сетки и основана способность лампы усиливать. Увеличивая или умень-



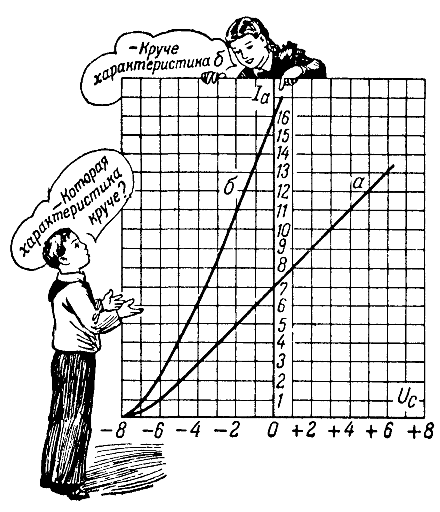
шая напряжение на сетке, мы тем самым заставляем анодный ток соответственно ослабляться или возрастать, причем изменения анодного тока происходят в полном соответствии с изменениями величины напряжения на сетке. Если при этом включить в анодную цепь лампы нагрузку — некоторое сопротивление R, то анодный ток, проходя по нему, будет создавать на нем падение напряжения. Любое увеличение или уменьшение анодного тока приведет к изменению величины падения напряжения на нагрузке. Но мы уже



знаем, что изменения анодного тока в свою очередь имеют такую же форму, как и переменное напряжение на сетке; поэтому и форма изменения напряжения на анодной нагрузке будет такой же. Однако при этом изменения напряжения на анодной нагрузке будут во много раз больше по величине, потому что малые изменения напряжения на сетке создают большие изменения величины анодного тока.

Колебания напряжения на анодной нагрузке будут представлять собой как бы увеличенную фотографию колебаний напряжения на сетке.

Наклон характеристики у различных ламп неодинаков. У одних характеристика идет круче, у других — более полого. Очевидно, что чем круче поднимается характеристика, тем сильнее будут сказываться изменения сеточного напряжения на величине анодного тока, и следовательно, тем больше будет усиление лампы.



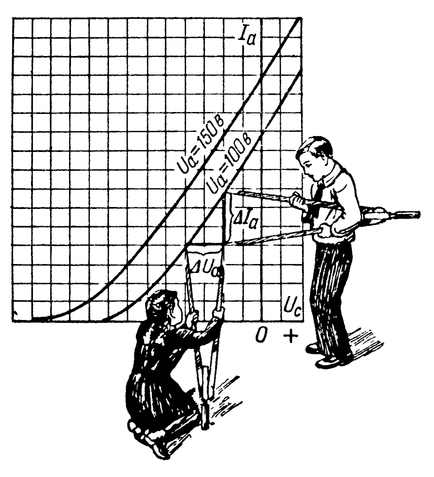
Из этого можно сделать вывод, что чем круче характеристика лампы, тем бо́льшими усилительными способностями она обладает.

ПАРАМЕТРЫ ТРИОДА

Для оценки ламп и для их сравнения пользуются специальными числовыми показателями, носящими название *параметров*.

То свойство лампы, о котором мы только что говорили, называется крутизной характеристики или просто *крутизной*. Этот параметр показывает, насколько круто поднимается характеристика лампы, т. е. насколько резко изменяется величина анодного тока при изменениях напряжения на сетке.

Крутизна характеристики обозначается буквой S и выражается в миллиамперах на вольт (*ма/в*). Физически крутизна характеристики показывает, на сколько миллиампер изменяется анодный ток лампы при изменении напряжения на ее сетке на 1 *в*. Для определения графическим способом крутизны характеристики надо построить на ней прямоугольный треугольник, гипотенузой которого служит исследуемый участок характеристики, а катетами — линии, параллельные горизонтальной и вертикальной осям графика.



В таком треугольнике горизонтальный катет показывает величину изменения напряжения на сетке, а вертикальный — соответствующее изменение величины анодного тока лампы. Обозначим анодный ток знаком I_a, а напряжение на сетке знаком U_c. Как принято в физике и технике, греческая буква Δ — „дельта", стоящая перед обозначением какой-нибудь физической величины, обозначает небольшое увеличение, называемое приращением этой величины.

На нашей фигуре вертикальный катет определяет величину приращения анодного тока, т. е. ΔI_a, а горизонтальный катет — соответственно ΔU_c. Взяв отношение

$\frac{\Delta I_a}{\Delta U_c}$, т. е. $\frac{\text{приращение анодного тока}}{\text{приращение напряжения на сетке}}$, мы получим значение крутизны характеристики в *ма/в*. Если, например, изменение напряжения на сетке на 2 *в* приводит к изменению анодного тока 3 *ма*, то крутизна характеристики

$$S=\frac{\Delta I_a}{\Delta U_c}=\frac{3}{2}=1{,}5 \ \text{ма/в}.$$

Если бы характеристика лампы представляла собой прямую линию, то крутизна, измеренная в разных ее точках, была одинаковой. В действительности же начальная (нижняя) часть характеристики более полога, чем остальная. Обычно лампа ставится в такие условия работы или, как часто говорят, в такой режим, при котором ее анодный ток изменяется в процессе работы только в пределах прямолинейной части характеристики. Поэтому, как правило, крутизну характеристики определяют именно для прямолинейного участка.

Величина крутизны характеристики зависит от конструкции лампы: крутизна тем больше, чем ближе сетка к катоду и чем больше эмиссия катода.

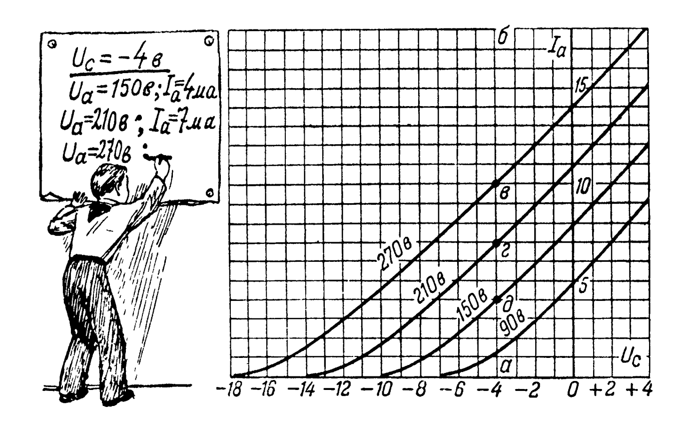
Та характеристика, которую мы только что рассматривали, получена при анодном напряжении, равном 100 *в*. Если снять характеристику при более высоком анодном напряжении, например при 150 *в*, то она расположится на графике выше первой, потому что увеличение анодного напряжения приводит к возрастанию анодного тока.

Характеристики одной и той же лампы, снятые при разных анодных напряжениях, идут почти параллельно друг другу, причем характеристики снятые при более высоком анодном напряжении, располагаются выше и левее, а снятые при более низком — ниже и правее. Ряд характеристик, снятых при разных напряжениях, называют *семейством характеристик.*

Из характеристик видно, что есть две возможности влиять на величину анодного тока триода: изменяя напряжение либо на его аноде, либо на сетке. При этом для одинаковых изменений анодного тока нужны неодинаковые изменения анодного или сеточного напряжения. Чтобы уяснить связь между этими величинами, сделаем такое построение. Проведем через семейство характеристик лампы вертикальную прямую *а — б* через точку, соответствующую отрицательному напряжению на сетке в —4 *в*. Точки *в*, *г*

и *д*, в которых эта прямая пересечет характеристики, будут указывать величину анодного тока при одном и том же напряжении на сетке, но при разных анодных напряжениях.

Увеличение напряжения на аноде и на сетке, как мы знаем, приводит к увеличению анодного тока. Но анод расположен дальше от катода, чем сетка, поэтому он притягивает электроны слабее. Для увеличения анодного тока на



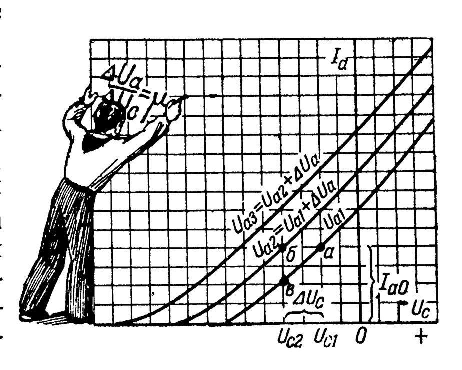
одну и ту же величину требуется гораздо меньшее изменение напряжения на сетке, чем на аноде. У лампы, характеристики которой показаны выше, изменение напряжения на сетке на 3 *в* (с —4 до —1 *в*) вызывает изменение анодного тока на 3 *ма*. Если же напряжение на сетке оставить неизменным, равным —4 *в*, то для того, чтобы анодный ток возрос на те же 3 *ма*, потребуется повышение анодного напряжения на 60 *в* (со 150 до 210 *в*). Если для увеличения анодного тока на 3 *ма* потребовалось в 20 раз большее увеличение анодного напряжения по сравнению с сеточным (анодное на 60 *в*, а сеточное на 3 *в*), то можно сказать, что управляющее действие сетки на величину анодного тока в 20 раз больше управляющего действия анода.

Число, показывающее, во сколько раз сетка действует на анодный ток сильнее, чем анод, называется коэффициентом усиления лампы и обозначается греческой буквой μ (мю).

Следовательно, для того чтобы добиться такого же увеличения (или уменьшения) анодного тока, какое производит изменение напряжения на сетке на U *в*, надо изменить анодное напряжение на μU *в*.

Коэффициент усиления можно определить из семейства характеристик лампы. Ниже изображено несколько характеристик лампы. На нижней из них отмечены две точки *в* и *а*. Для того чтобы увеличить анодный ток на величину, соответствующую двум делениям вертикальной шкалы, надо изменить напряжение на сетке на ΔU_c. Если начальное напряжение на сетке было равно U_{c2}, то после изменения его на ΔU_c оно станет равно U_{c1}.

Из чертежа видно, что при сохранении напряжения на сетке равным U_{c2} можно получить такое же увеличение анодного тока, повысив анодное напряжение на величину ΔU_a (с U_{a1} до U_{a2}), так как точки *в* и *б* находятся на одной вертикальной линии. Значит, изменение сеточного напряжения на ΔU_c производит такое же действие на величину анодного тока, как и изменение анодного напряжения на ΔU_a. Взяв отношение $\frac{\Delta U_a}{\Delta U_c}$, мы получим величину коэффициента усиления лампы μ.



Если, например, изменение напряжения на сетке на 0,5 *в* приводит к такому же изменению анодного тока, как изменение анодного напряжения на 10 *в*, то коэффициент усиления

$$\mu = \frac{\Delta U_a}{\Delta U_c} = \frac{10}{0,5} = 20.$$

Величина коэффициента усиления определяется конструкцией лампы. Чем гуще сетка, тем больше коэффициент усиления. Причина этого ясна: чем гуще сетка, тем больше любое изменение ее напряжения будет воздействовать на поток электронов, летящих от катода к аноду.

Третьим параметром лампы является ее внутреннее сопротивление. С понятием о сопротивлении приходится сталкиваться при рассмотрении любой электрической цепи. Ве-

личина тока в цепи определяется соотношением, носящим название закона Ома:

$$\text{ток} = \frac{\text{напряжение}}{\text{сопротивление}},$$

отсюда $$\text{сопротивление} = \frac{\text{напряжение}}{\text{ток}} \quad \text{или} \quad R = \frac{U}{I}.$$

Анодная цепь триода, т. е. цепь, по которой течет его анодный ток, образуется из источника тока, участка между катодом и анодом лампы и измерительного прибора. Участок анод — катод лампы и является тем сопротивлением, которое определяет величину тока в анодной цепи. Но электронная лампа представляет собой проводник особого рода, отличающийся от обычных проводников, и обладает свойствами, характерными только для нее. Поэтому внутреннее сопротивление лампы нельзя рассматривать, как обычное сопротивление.

Пользуясь приведенной выше формулой, можно было бы по анодному напряжению лампы и соответствующему этому напряжению анодному току вычислить сопротивление лампы. Но найденная таким способом величина будет сопротивлением лампы постоянному току, которое никакого интереса не представляет. Электронная лампа чаще всего используется для усиления переменных напряжений. При этом происходят изменения анодного тока лампы и для суждения о ее работе надо знать не простую зависимость между током и напряжением в анодной цепи, а то, как изменяется анодный ток при изменениях анодного напряжения, поскольку именно это определяет величину изменений напряжения на сопротивлении анодной нагрузки.

На графике, помещенном на стр. 54, видно, что при нулевом напряжении на сетке и анодном напряжении в 150 *в* анодный ток равен 8 *ма*. При повышении анодного напряжения до 210 *в* анодный ток возрастает до 11 *ма*. Следовательно, при изменении анодного напряжения на 60 *в* произошло изменение анодного тока на 3 *ма*.

Для большинства вычислений, связанных с работой электронной лампы, представляет интерес именно эта величина, показывающая соотношение между изменениями анодного напряжения и анодного тока, называемое *внутренним сопротивлением лампы*.

$$\text{Внутреннее сопротивление} = \frac{\text{изменение анодного напряжения}}{\text{изменение анодного тока}}$$

Символически это выражение выглядит так:

$$R_i = \frac{\Delta U_a}{\Delta I_a}.$$

Обозначение R_i введено специально для того, чтобы подчеркнуть, что оно обозначает не обычное сопротивление лампы постоянному току, а ее сопротивление переменному току.

Если ΔI_a выражено в амперах, а ΔU_a — в вольтах, то R_i будет выражено в омах.

Величину R_i легко определить из семейства характеристик лампы. В нашем предыдущем примере изменение анодного напряжения на 60 *в* сопровождалось изменением анодного тока на 3 *ма* = 0,003 *а*, значит внутреннее сопротивление лампы

$$R_i = \frac{\Delta U_a}{\Delta I_a} = \frac{60}{0{,}003} = 20\,000 \text{ ом}.$$

Параметры лампы: крутизна характеристики, коэффициент усиления и внутреннее сопротивление являются исходными данными для расчетов аппаратуры, в которой применяют электронные лампы.

Между указанными тремя параметрами триода существует простая зависимость:

$$\frac{\text{крутизна характеристики} \times \text{внутреннее сопротивление}}{\text{коэффициент усиления}} = 1$$

или

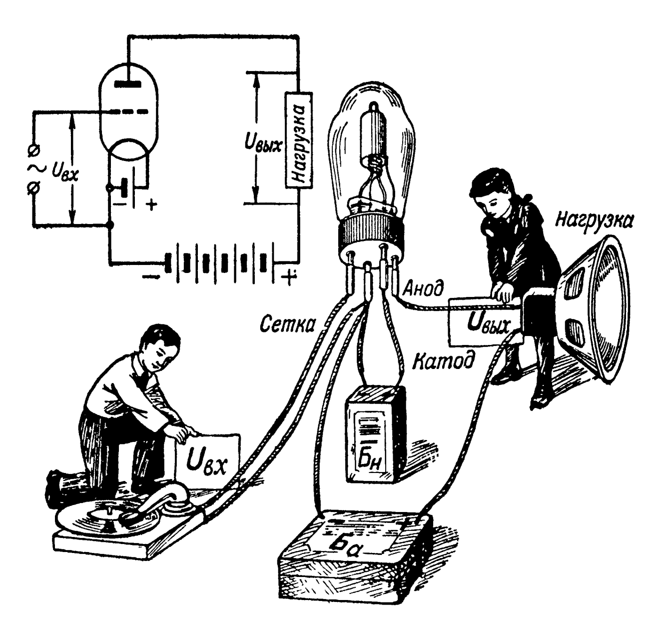
$$\frac{SR_i}{\mu} = 1.$$

Наиболее важным параметром, лучше других характеризующих качество лампы, является крутизна характеристики.

ПРИМЕНЕНИЕ ТРИОДА

Основным назначением триода является усиление слабых переменных напряжений, подводимых к его сетке.

Современной техникой разработано множество различных способов использования усилительных свойств электронных ламп и, в частности, триодов. В основу работы всех этих способов положены одни и те же физические явления, с ко-



торыми можно познакомиться на примере простейшей усилительной схемы, показанный выше.

В этой схеме усиливаемое входное переменное напряжение $U_{вх}$ подводится к сетке и катоду лампы. В анодную цепь включена нагрузка, на которой колебания анодного тока создают усиленное переменное напряжения $U_{вых}$, называемое выходным. Лампа со всеми элементами ее схемы в цепи сетки и цепи анода образует так называемую усилительную ступень или *усилительный каскад*.

Величина, указывающая, во сколько раз выходное напряжение больше входного, называется *усилением каскада*, следовательно,

$$\text{усиление каскада} = \frac{\text{выходное напряжение}}{\text{входное напряжение}}.$$

Обозначив усиление каскада буквой K, мы можем символически написать это равенство так:

$$K = \frac{U_{вых}}{U_{вх}}.$$

Не следует смешивать усиление каскада K с коэффициентом усиления лампы μ. Величина K всегда будет

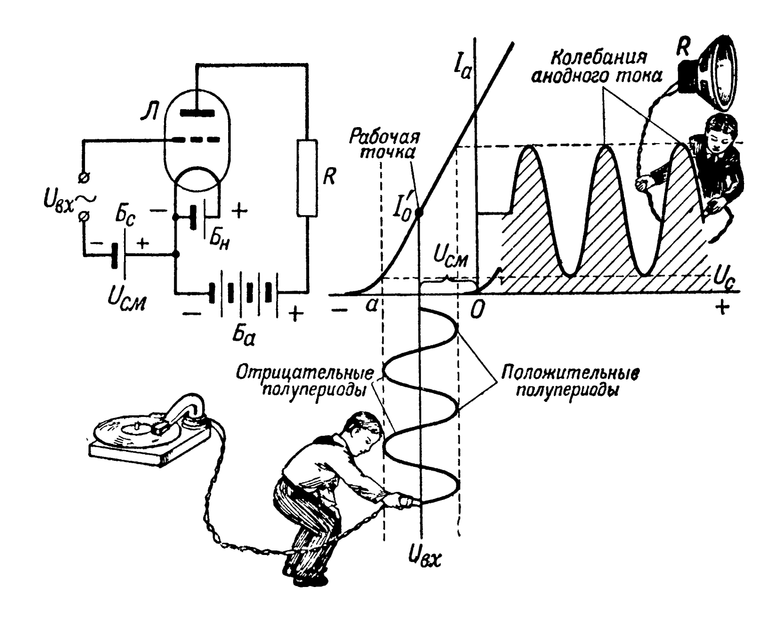
меньше, чем μ, т. е. действительное усиление, какое лампа дает в схеме, всегда меньше ее коэффициента усиления.

Для того чтобы было легче понять только что разобранную схему, представим ее в виде реального усилителя. Допустим, что входное напряжение лампа получает от граммофонного звукоснимателя, а нагрузкой в ее анодной цепи служит громкоговоритель. Такая схема представляет собой нечто вроде электропроигрывателя. В действительных схемах радиол работают две-три лампы, а не одна, и сама схема несколько сложнее, но ее принципиальная сущность от этого не меняется.

Чтобы получить от лампы, работающей в качестве усилителя, хорошие результаты, надо подобрать правильный режим (благоприятные условия) ее работы. Главнейшим из таких условий является подача на сетку лампы некоторого постоянного отрицательного напряжения, называемого отрицательным смещением, которое обеспечит работу на прямолинейном участке характеристики и при отсутствии тока в цепи сетки.

С этой целью проще всего между катодом лампы и ее сеткой включить батарейку $Б_с$ так, чтобы ее плюс был обращен к катоду, а минус — к сетке. Из графика на стр. 60 видно, что при таком включении батарейки рабочая, т. е. начальная, точка сместится (отсюда и название — сеточное смещение) влево от нуля. При этом как положительные, так и отрицательные амплитуды входного напряжения $U_{вх}$ укладываются на прямолинейной части характеристики лампы. Если бы смещения не было и рабочая точка совпадала с нулем, то при положительных полупериодах входного напряжения возникал сеточный ток (см. график на стр. 50), что по ряду причин приводит к искажениям, форма усиленных колебаний становится не тождественной форме подводимых колебаний.

Кроме того, из графика видно, что размах подводимого к сетке переменного напряжения не должен быть слишком велик. При слишком большой величине этих размахов (амплитуд) колебания во время положительных полупериодов будут заходить за нуль — в область сеточных токов, а во время отрицательных полупериодов они будут заходить за нижний перегиб характеристики — за точку a. В обоих этих случаях возникнут искажения усиливаемых колебаний. Чтобы искажения не возникли, надо рабочую точку сместить на середину прямолинейной части характе-



ристики между нулем и нижним перегибом, т. е. на середину участка *О-а*. Кроме того, надо, чтобы амплитуды приходящих колебаний не превышали половины размеров этого участка — не заходили правее точки *О* и левее точки *а*. В этом случае форма колебаний анодного тока и, следовательно, колебаний напряжения на анодной нагрузке будут в точности повторять форму колебаний напряжения, подведенную к сетке лампы, но по размаху будут превосходить их, т. е. лампа усилит их без искажений.

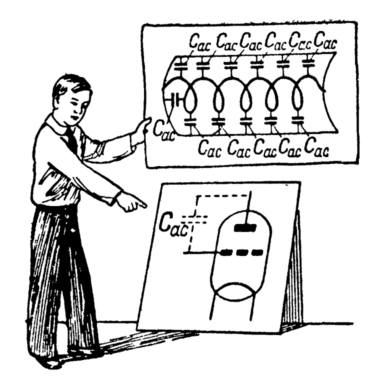
ТЕТРОДЫ И ПЕНТОДЫ

Развитие техники радиоприема, связанное с необходимостью усиления напряжений высокой частоты, выявило один из основных недостатков триода. Было замечено, что усилители на триодах, предназначенные для этой цели, работают неустойчиво и не обеспечивают надежного усиления.

Исследования показали, что причиной этого является наличие значительной емкости между электродами лампы. Вопрос этот очень важен, поэтому на нем стоит остановиться подробнее.

Между любыми двумя проводниками, не соприкасающимися друг с другом, существует электрическая емкость. Две металлические пластины, разделенные промежутком, обра-

зуют конденсатор. Конденсатор, включенный в электрическую цепь, создает непреодолимое препятствие для постоянного тока, но «пропускает» через себя переменный ток, представляя для него лишь как бы некоторое сопротивление. Чем больше емкость конденсатора и чем выше частота переменного тока, тем меньшее сопротивление представляет конденсатор его прохождению.



Металлические электроды лампы, не имеющие между собой непосредственного контакта, тоже образуют конденсаторы, характеризующиеся определенными емкостями. Внутри триода есть три такие емкости: между сеткой и катодом, между сеткой и анодом и между анодом и катодом. Анализ работы лампы показывает, что наиболее вредна емкость между анодом и сеткой, обозначаемая обычно C_{ac}.

Вредное действие этой емкости легко понять, посмотрев на рисунок вверху. Предположим, что лампа должна усиливать напряжение высокой частоты. На сетку лампы поступают слабые электрические колебания U_c. Усиленные колебания этой же частоты U_a выделяются на анодной нагрузке — на сопротивлении R_a. Если между анодом лампы и ее сеткой есть емкость C_{ac}, то через нее часть усиленного переменного напряжения будет передана из анодной цепи обратно в сеточную. Это напряжение добавится к основному сигналу, действующему в цепи сетки. Напряжение сигнала на входе как бы возрастает, вследствие чего увеличивается и напряжение, выделяющееся на анодной нагрузке. Это в свою очередь приведет к передаче через емкость анод — сетка в сеточную цепь еще большего напряжения и т. д. В результате работа лампы становится неустойчивой, может возникнуть самовозбуждение, и лампа из усилителя колебаний превратится в генератор, т. е. в самостоятельный источник колебаний. Возникновение в усилителе самовозбуждения проявляется в виде сильных искажений и свиста.

Опасность неустойчивой работы усилителя будет тем больше, чем выше частота переменного тока (тем легче он

пройдет через емкость) и чем больше усиление лампы. Это обстоятельство создало весьма серьезные затруднения приему и усилению слабых сигналов высокой частоты и заставило искать способы борьбы с вредным влиянием емкости сетка — анод трехэлектродной лампы.

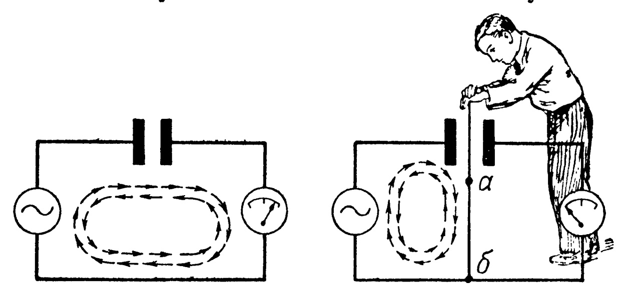
Физика знает способы уменьшения емкости между двумя проводниками. Такими способами, например, является уменьшение размеров проводников, образующих конденсатор, и увеличение расстояния между ними. Эти способы применялись при конструировании триодов, но значительного эффекта они не дали, потому что чрезмерно уменьшать электроды по ряду соображений нельзя (например, уменьшение размеров анода приводит к необходимости снизить анодный ток и все параметры лампы), а увеличение расстояний между электродами ограничивается размерами лампы и рядом других причин.

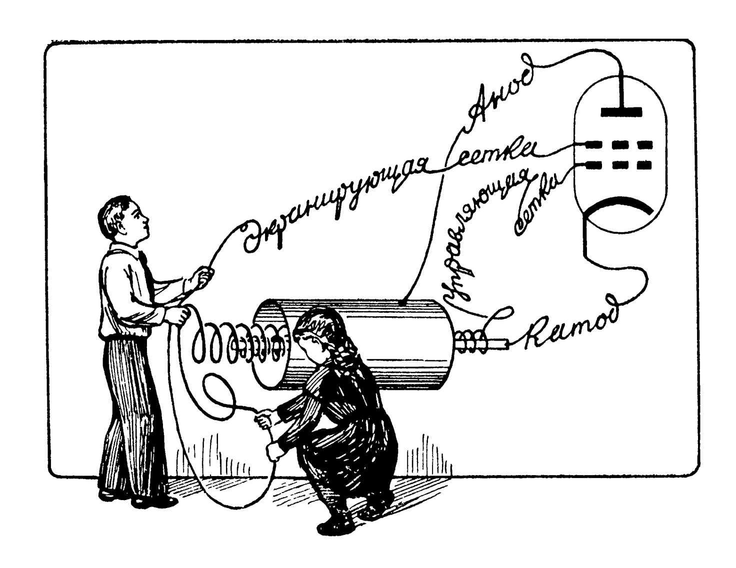
Наиболее удобным и осуществимым способом уменьшения емкости оказалось экранирование.

Сущность этого способа можно пояснить следующим примером. Пусть имеется цепь из конденсатора, источника переменного напряжения и измерительного прибора. В такой цепи будет течь ток, величину которого отметит измерительный прибор.

Поместим теперь между пластинами конденсатора еще одну пластину и присоединим ее к нашей схеме в точке *б*. Когда мы это сделаем, то заметим, что стрелка прибора установилась на нуле — тока в цепи прибора не стало.

Объясняется это тем, что ток теперь потечет по другому, более короткому пути — через емкость между левой и средней пластинами и далее по проводу *а-б*. Путь переменного тока в обоих случаях показан стрелками. В правой части схемы, где находится измерительный прибор, тока не будет, она окажется как бы замкнутой накоротко проводом *а-б*. Это равносильно уничтожению емкости между пластинами





конденсатора. Третья пластина явилась экраном, который свел емкость конденсатора к нулю. Важно то, что такой экран не должен быть обязательно сплошным. Его можно выполнить, например, в виде достаточно густой сетки — экранирующее действие при этом не изменится.

Подобный экран можно применить и в электронной лампе. Для этого достаточно ввести в нее вторую сетку — спираль, поместив ее между анодом и основной сеткой. Эту дополнительную сетку называют экранной или *экранирующей*, а основную — *управляющей*, так как ее напряжение управляет анодным током.

Введение экранирующей сетки приводит к резкому уменьшению емкости между анодом и управляющей сеткой, вследствие чего исключается опасность проникновения усиленного напряжения из цепи анода обратно в цепь сетки и становится возможным получение устойчивого усиления колебаний высокой частоты.

Лампы, имеющие экранирующие сетки, называются экранированными или — по числу электродов — *тетродами* («тетра» по-гречески — четыре).

Экранирующая сетка должна быть конструктивно выполнена так, чтобы, уменьшая емкость между управляющей сеткой и анодом, она в то же время не создавала препятствий электронам в их движении к аноду. Это вполне осуществимо, так как расстояние между витками экранирую-

щей сетки, конечно, не может итти ни в какое сравнение с размерами электрона.

Но действие экранирующей сетки не ограничивается уменьшением вредной или, как ее часто называют, паразитной емкости между управляющей сеткой и анодом. Экранирующая сетка одновременно позволяет значительно улучшить параметры лампы и в первую очередь повысить ее коэффициент усиления.

Объясняется это тем, что на пути электронов к аноду появляется еще одна преграда — дополнительная сетка, значит действие анода на электроны уменьшается, а чем меньше действие анода на электронный поток по сравнению с действием управляющей сетки, тем больше коэффициент усиления.

На это как будто бы можно возразить, что и у триода можно получить очень большой коэффициент усиления. Мы уже говорили, что чем гуще управляющая сетка лампы, тем больше коэффициент усиления. Следовательно, надо делать сетку очень густой, тогда и коэффициент усиления будет очень большим.

На самом деле это не так. В действительности у триода почти невозможно сделать коэффициент усиления больше 100. И вот почему.

Коэффициент усиления μ показывает, во сколько раз напряжение на сетке действует на анодный ток сильнее, чем напряжение на аноде. Если $\mu = 10$, то это значит, что изменение напряжения на сетке на 1 *в* действует так же, как изменение на аноде на 10 *в*. Подав на анод этой лампы напряжение, например, 150 *в*, мы создадим в ее анодной цепи некоторый ток. Поскольку 1 *в* на сетке лампы действует так же, как 10 *в* на аноде, то очевидно, что, подав на сетку —15 *в*, мы совершенно прекратим анодный ток; отталкивающее по отношению к электронам действие сеточного напряжения уравновесит притягивающее действие анода.

Если бы коэффициент усиления лампы был больше, например равнялся 30, то анодный ток прекратился бы при напряжении на сетке —5 *в*, а при $\mu = 100$ для прекращения анодного тока потребовалось бы подать на сетку всего —1,5 *в*.

Для работы усилительной лампы используется, как мы видели, участок характеристики между нижним перегибом и точкой, соответствующей нулевому напряжению на сетке. В триоде с большим μ этот участок будет совсем мал:

при $\mu = 100$ он окажется в лучшем случае немногим больше чем 1 *в*. Значит, к сетке такой лампы нельзя подводить переменные напряжения с амплитудой больше чем 0,5 *в*, так как в противном случае колебания попадут в область сеточного тока и на перегиб характеристики, что приведет к искажениям.

Это обстоятельство очень ограничивает возможности использования триодов с большим μ. Казалось бы, что их удобнее всего применить для усиления высокой частоты, поскольку напряжение сигналов высокой частоты при радиоприеме всегда бывает очень мало. Но тут возникает препятствие в виде емкости анод — сетка, которая особенно сильно сказывается при усилении именно высоких частот, а при усилении низких частот, когда вредное действие емкости анод — сетка сказывается меньше, переменные напряжения обычно бывают довольно значительны.

Введение в лампу экранирующей сетки разрешает эту трудность.

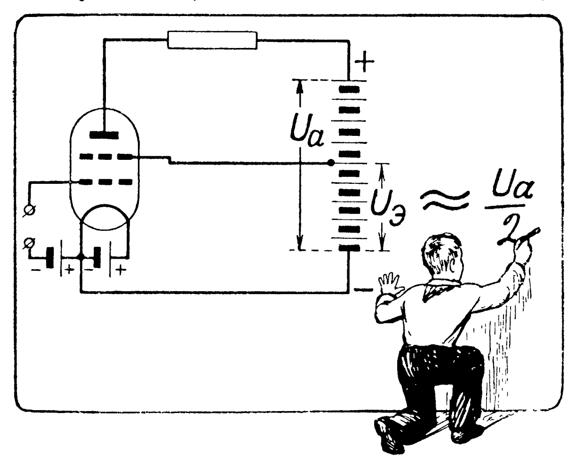
Мы до сих пор говорили только о том, что экранирующая сетка находится между управляющей сеткой и анодом, но не касались вопроса о том, с чем же соединена эта сетка. Для того чтобы она выполняла только функции экрана, ее достаточно было бы соединить с катодом, т. е. с нулевой точкой схемы, относительно которой определяется напряжение всех остальных электродов. Но при этом, как и у триода с большим μ, можно использовать только очень малую часть характеристики лампы, что невыгодно.

Но можно присоединить экранирующую сетку иначе — подать на нее положительное напряжение. Картина при этом резко изменится. Анод, отделенный от катода двумя сетками, сам по себе будет оказывать слабое притягивающее действие на электроны. Но экранирующая сетка будет помогать ему в этом. При положительном напряжении на экранирующей сетке электроны получат дополнительное ускорение и устремятся к экранирующей сетке. Напряжение на ней $U_э$ можно сделать меньше, чем на аноде U_a. Тогда электроны, приблизившись к экранирующей сетке и приобретя при этом достаточную скорость, испытают сильное притяжение анода и полетят к нему. Небольшое количество электронов окажется при этом притянутым экранирующей сеткой и образуют в ее цепи некоторый ток.

Таким образом, экранирующая сетка способствует увеличению анодного тока. Если осуществление в триодах большого коэффициента усиления приводит к резкому

уменьшению возможного для использования участка характеристики, то экранирующая сетка, способствуя, с одной стороны, увеличению коэффициента усиления, увеличивает в то же время анодный ток и этим как бы сдвигает всю характеристику лампы влево, позволяя использовать для усиления ее большой участок.

Благодаря этому тетроды могут иметь очень большой коэффициент усиления, доходящий до 500—600, т. е. во



много раз больше, чем у триодов. Поэтому от усилительного каскада с тетродом можно получить значительно большее усиление, чем от каскада с триодом.

На экранирующую сетку обычно подается напряжение, примерно вдвое меньшее анодного. Экранирующая сетка играет чисто вспомогательную роль, и ток в ее цепи не используется.

Тетроды такого типа в основном применяются для усиления высокой частоты. Большой коэффициент усиления и малая величина емкости управляющая сетка — анод позволяют очень эффективно использовать их для этой цели.

Экранированные лампы явились значительным шагом вперед по сравнению с трехэлектродными. Однако практика использования этих ламп выявила крупный недостаток, препятствовавший расширению их применения.

Мы отмечали, что экранирующая сетка, находящаяся под достаточно большим положительным напряжением (обычно порядка 50—70 *в*), сообщает электронам, образующим анодный ток, дополнительную скорость. Электроны, летящие с очень большой скоростью, с такой силой ударяются

в поверхность анода, что выбивают из атомов металла анода другие электроны. Один электрон, имеющий достаточно большую скорость, может выбить из анода несколько электронов (см. стр. 18). Ударяющийся об анод электрон принято называть первичным, а выбитые им электроны — вторичными.

Каким же образом появление вторичных электронов может отозваться на работе лампы?

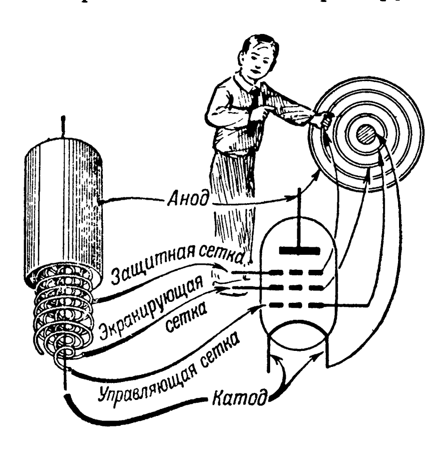
Выбитые из анода вторичные электроны имеют неодинаковые скорости. Электроны, получившие небольшую скорость, под влиянием притяжения положительно заряженного анода быстро теряют ее и возвращаются обратно на анод. Такие электроны не удаляются на большое расстояние от анода и их появление не сказывается на работе лампы.

Но какая-то часть вторичных электронов получает в результате удара большую скорость, дающую им возможность достаточно удалиться от анода и приблизиться к экранирующей сетке настолько, что ее притяжение превысит притяжение анода. В итоге эти электроны будут притянуты экранирующей сеткой.

В результате в лампе образуются два тока: один — нормальный анодный ток, образованный электронами, вылетевшими из катода, и второй, образованный вторичными электронами, выбитыми из анода, и имеющий противоположное направление. Этот ток обратного направления иногда называют динатронным током, поскольку явление выбивания из анода вторичных электронов известно под названием *динатронного эффекта.*

Динатронный ток, как имеющий обратное направление по отношению к анодному току, вычитается из него. Динатронный эффект приводит к уменьшению анодного тока лампы. Так как каждый первичный электрон может при известных условиях выбить несколько вторичных, то при некоторых соотношениях напряжений на аноде лампы и ее экранирующей и управляющей сетках динатронный ток может сравняться по величине с «прямым» анодным током и даже превысить его. У лампы, работающей в таком режиме, уменьшение отрицательного напряжения на управляющей сетке будет сопровождаться не увеличением анодного тока, а его уменьшением (из-за возникновения динатронного эффекта). В результате возникнут сильные искажения и может начаться самовозбуждение каскада, т. е. превращение усилительного каскада в генераторный.

Способ устранения неприятных последствий динатронного эффекта очевиден — надо не допускать вторичные электроны приближаться к экранирующей сетке. Осуществить это можно введением в лампу еще одной — третьей по счету — сетки.



Третья сетка располагается между анодом и экранирующей сеткой и соединяется с катодом. Поскольку отрицательный полюс источника анодного напряжения соединен с катодом, то третья сетка оказывается заряженной отрицательно относительно анода. Поэтому выбитые из анода вторичные электроны будут отталкиваться этой сеткой обратно к аноду. В то же время, будучи достаточно редкой, эта сетка не препятствует лететь к аноду электронам основного анодного тока.

Эта третья сетка защищает лампу от возникновения динатронного эффекта и поэтому называется *защитной* или противодинатронной.

Лампы с тремя сетками имеют всего пять электродов (катод, анод и три сетки), поэтому такие лампы называют *пентодами* (от греческого слова «пента» — пять).

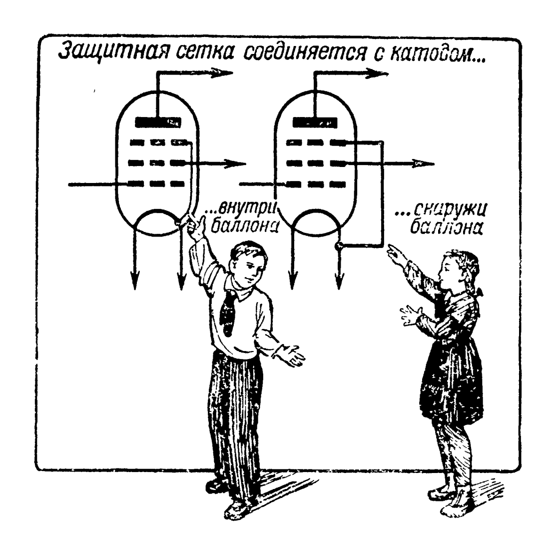
Соединение защитной сетки с катодом очень часто производится внутри лампы, и эта сетка, таким образом, не имеет самостоятельного вывода из баллона. В лампах некоторых типов защитная сетка имеет вывод наружу, и ее соединение с катодом осуществляется вне баллона путем соединения соответствующих гнезд ламповой панельки.

Роль защитной сетки не ограничивается предотвращением последствий динатронного эффекта. Ее присутствие отражается на всей работе лампы примерно так же, как и присутствие экранирующей сетки. Поэтому о ней можно сказать то же самое, что мы говорили относительно введения в триод экранирующей сетки.

Защитная сетка, находясь между управляющей сеткой и анодом, как и экранирующая сетка, служит экраном между ними и способствует еще большему уменьшению емкости между этими электродами. Поэтому емкость между анодом

и управляющей сеткой у пентодов еще меньше, чем у тетродов.

Защитная сетка, как и экранирующая, ослабляет действие анода на поток электронов по сравнению с действием



управляющей сетки, поэтому коэффициент усиления пентодов больше, чем коэффициент усиления тетродов.

У современных высокочастотных пентодов коэффициент усиления доходит до нескольких тысяч (у триодов же, как мы видели, он не бывает больше 100), а емкость управляющая сетка — анод измеряется тысячными долями пикофарады (у триодов несколько пикофарад).

Благодаря большому коэффициенту усиления и малой междуэлектродной емкости пентод является прекрасной лампой для усиления высокой частоты. Но пентоды могут с большим успехом применяться и для усиления низкой (звуковой) частоты. Использование для этой цели экранированных ламп, т. е. тетродов, не представлялось возможным. При усилении низкой частоты к управляющим сеткам ламп подводятся значительно большие переменные напряжения, чем при усилении высокой частоты, вследствие этого получаются большими и колебания напряжения на аноде, что приводит в тетродах к возникновению динатронного эффекта со всеми его неприятными последствиями. В пентодах динатронный эффект, как мы знаем, не возникает, по-

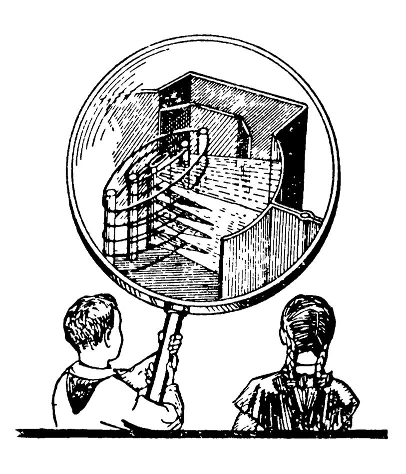
этому их хорошие качества можно использовать и для усиления низкой частоты, в частности и для оконечного усиления.

Конструктивно низкочастотные пентоды несколько отличаются от высокочастотных. Для усиления низкой частоты не нужны слишком большие коэффициенты усиления, но зато необходимо иметь большой запас прямолинейного участка характеристики, потому что усиливать приходится большие напряжения. Для этого у низкочастотных пентодов делают сравнительно редкие экранирующие сетки. При таких экранирующих сетках коэффициент усиления не получается очень большим (в десятки раз меньше, чем у высокочастотных пентодов), а вся характеристика сдвигается влево, поэтому больший ее участок становится пригодным для использования.

Но конструктивное изменение высокочастотных пентодов для использования их в качестве усилителей низкой частоты не ограничивается разрежением экранирующей сетки. Низкочастотные пентоды должны отдавать большую мощность, а для этого нужны большие колебания анодного тока, а так как источником анодного тока является катод, то он у низкочастотных пентодов должен давать большую эмиссию, для чего его поверхность приходится увеличивать. Увеличивать приходится и аноды. При большом анодном токе аноды подвергаются сильной электронной бомбардировке, что приводит к их нагреванию, так как на аноде выделяется или, как говорят, рассеивается большая мощность. Рассеиваемая на аноде мощность тем больше, чем больше электронов в потоке и чем выше их скорость, т. е., иначе говоря, чем сильнее анодный ток и чем выше анодное напряжение. Тонкие, небольшие по размерам аноды при сильном анодном токе могут раскалиться и даже расплавиться. Чтобы этого не произошло, аноды низкочастотных ламп делают большими и массивными, а также часто чернят их, так как черные тела лучше излучают тепло и, следовательно, лучше самоохлаждаются.

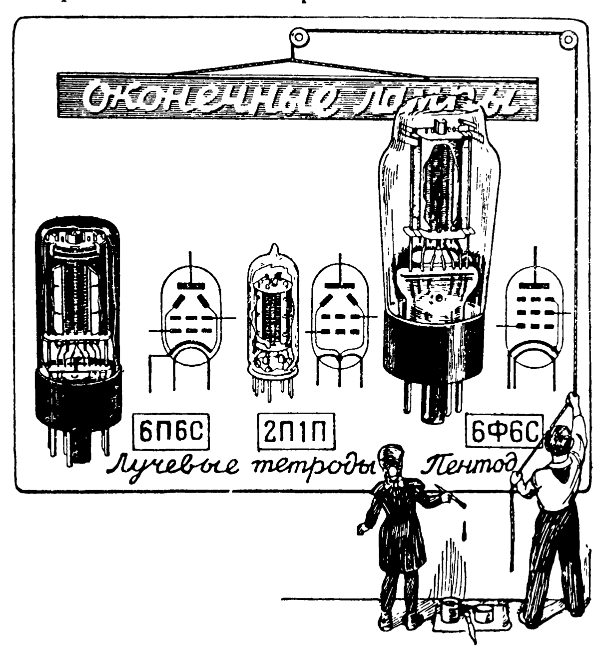
Следует отметить, что удается конструировать мощные низкочастотные лампы и без защитной сетки. Витки экранирующих сеток в таких тетродах располагают точно за соответствующими витками управляющих сеток. При подобном устройстве сеток электроны, летящие к аноду, будут в гораздо меньших количествах попадать на витки экранных сеток, заслоненные витками управляющих сеток. Электронный поток при этом рассекается на отдельные пучки или

лучи. Формированию лучей способствуют специальные пластины — экраны, соединенные с катодом и ограничивающие электронный поток с боков.



Расслаивание электронного потока в таких тетродах на отдельные лучи и дало таким лампам название *лучевых тетродов*. При такой конструкции лампы удается устранить динатронный эффект, относя анод на точно рассчитанное расстояние от катода и других сеток. Благодаря этому выбитые из анода вторичные электроны не могут долететь до экранирующей сетки и притягиваются обратно анодом, не нарушая работы лампы.

У лучевых ламп удается создать очень выгодную форму характеристики, позволяющую получить большую выходную мощность при небольшом напряжении сигнала на сетке.



Высокочастотные и низкочастотные пентоды, а также лучевые тетроды чрезвычайно широко распространены. У нас наиболее известными высокочастотными пентодами являются 2К2М, 2Ж2М, 1К1П, 6К7, 6К3, низкочастотными пентодами — 6Ф6С, лучевыми тетродами — 2П1П, 6П3С, 6П6С.

ГЕКСОДЫ, ГЕПТОДЫ И ОКТОДЫ

Три сетки, имеющиеся у пентода, еще не максимальное число сеток в электронной лампе. Развитие радиоаппаратуры привело к необходимости конструирования лампы с еще бо́льшим числом сеток.

Причиной, побудившей создать такие многосеточные лампы, явились супергетеродинные приемники. В таких приемниках происходит преобразование частоты принятых сигналов в другую частоту, называемую промежуточной. Для этого в супергетеродинах осуществляется смешивание приходящих колебаний, имеющих частоту сигнала, с колебаниями другой (вспомогательной) частоты, генерируемой в самом приемнике. Это смешивание осуществляется в лампах, к которым подводятся два управляющих напряжения: частоты сигнала и вспомогательной частоты, поэтому у них должны быть две управляющие сетки. В таких лампах приходится применять также и две экранирующие сетки. Одна из них экранирует одну управляющую сетку от другой, располагаясь между ними, а вторая экранирует вторую управляющую сетку от анода, помещаясь между этой сеткой и анодом. Всего, следовательно, в лампе имеется четыре сетки, а общее число электродов равняется шести, почему они и названы *гексодами* («гекса» по-гречески — шесть).

Гексоды применялись в супергетеродинных приемниках для смешивания колебаний разных частот, почему их и называли смесительными лампами или *смесителями*. Для преобразования частоты в супергетеродине требовались две лампы: смеситель и гетеродин, генерировавший вспомогательную частоту. Для последней цели применялись триоды.

Стремление уменьшить в приемниках общее число ламп привело к мысли объединить функции смесителя и гетеродина в одном баллоне. Такие лампы, получившие название преобразовательных ламп или *преобразователей*, были созданы. Оказалось, что достаточно к гексоду прибавить еще одну сетку, чтобы лампа могла выполнять обе функции. В такой лампе получилось уже пять сеток.

Первая от катода сетка является управляющей сеткой генераторной части лампы. Следующая за ней сетка выполняет роль анода генераторной части. Таким образом, катод вместе с первыми двумя сетками составляет триод, применяемый для генерирования вспомогательной частоты. Третья от катода сетка работает как экранирующая. Она отделяет генераторную часть лампы от других электродов. За ней следует управляющая сетка, к которой подводится напряжение сигнала, почему эту четвертую по счету сетку иногда называют сигнальной. Пятая сетка экранирует сигнальную сетку от анода. Всего в лампе семь электродов, вследствие чего она называется *гептодом* (гепта по-гречески — семь). Так как в гептоде имеются две экранирующие сетки, выполняющие одинаковые функции, то они соединяются внутри лампы и имеют общий вывод.



Бывают гептоды и с другим распределением сеток. У них экранирующая сетка одновременно исполняет роль анода генератора, пятая сетка, находящаяся между анодом и сигнальной сеткой, является защитной, служа для тех же целей, что и в пентодах.

К гептодам первого типа из числа наших ламп относятся 6А8 и СО-242, а к гептодам второго типа — 1А1П, 6А7, 6А10С и 6А2П.

У гептодов первого типа, имеющих отдельную сетку, используемую в качестве анода генераторной части лампы, перед анодом нет защитной сетки и это несколько снижает их качество. Поэтому в такие лампы иногда вводят еще одну сетку (шестую), соединенную с катодом и выполняющую функции защитной сетки. У подобной лампы получается уже восемь электродов, почему они и были названы *октодами* («окто» по-гречески — восемь).

Наилучшими преобразовательными лампами оказались гептоды второго типа, у которых есть защитная сетка,

а роль анода генераторной части выполняет экранирующая сетка. Поэтому в современных приемниках для преобразования частот применяются гептоды этого типа, а гексоды, гептоды первого типа и октоды встречаются лишь в аппаратуре выпуска прошлых лет.

КОМБИНИРОВАННЫЕ ЛАМПЫ

Электронная лампа является довольно дорогим прибором, имеющим к тому же сравнительно ограниченный срок службы, в среднем составляющий около 1 000 час. Поэтому естественно стремление по возможности уменьшить число ламп в радиоприемниках и вообще в любого рода аппаратуре, в которой применяются электронные лампы.

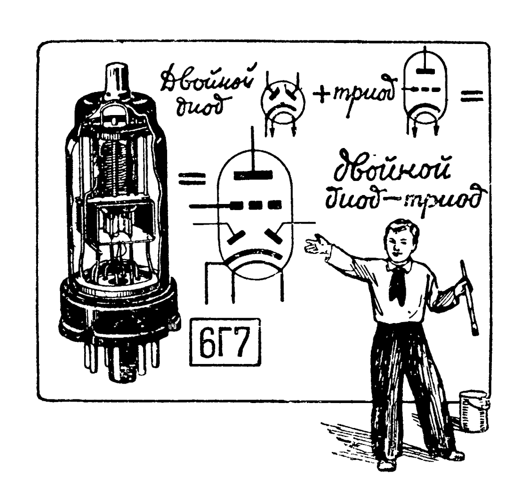
Добиться такого уменьшения числа ламп можно разными способами. К ним надо причислить, например, улучшение параметров ламп и их усилительных свойств, что позволяет применять одну высококачественную лампу там, где раньше должны были работать две или более лампы менее высокого качества. Другим способом, ведущим к той же цели, является объединение в одном баллоне двух или нескольких ламп, служащих для выполнения одинаковых или различных функций.

С первым примером такого объединения мы столкнулись уже в самом начале нашего рассказа об электронных лампах. Двуханодный кенотрон представляет собой комбинацию в одном баллоне двух диодов, служащих для выпрямления переменного тока. Двуханодный кенотрон — комбинированная лампа, представляющая собой объединение в одном общем баллоне двух ламп с раздельными функциями. То, что в данном случае обе функции однородны, не имеет существенного значения, поскольку обе половины могут быть использованы раздельно.

Примером выполнения различных задач отдельными частями лампы отчасти могут служить гептоды и октоды. Одна часть этих ламп служит для генерирования, а другая — для смешивания частот.

Но если глубже вглядеться в работу двуханодных кенотронов, гептодов и октодов, то можно усмотреть между ними существенную разницу. Эта разница состоит в том, что в двуханодном кенотроне обе части лампы используют разные электронные потоки, тогда как в гептодах и октодах как генераторная, так и смесительная части лампы используют один и тот же общий электронный поток, который как

бы последовательно проходит через обе части лампы. Лампы такого рода называют многоэлектродными. В них электронный поток находится под действием нескольких электродов. В отличие от них комбинированными лампами называют такие лампы, в которых для работы отдельных частей лампы используются раздельные электронные потоки, создаваемые одним общим катодом, а иногда делаются даже раздельные катоды, имеющие самостоятельные выводы, но нагреваемые одной общей нитью накала.

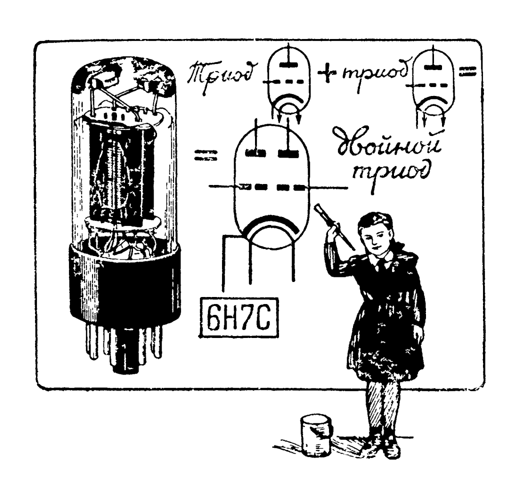


Очень распространенными комбинированными лампами являются *диод-триоды* и *двойные диод-триоды* (сочетание в одном баллоне триода и одного или двух диодов). Диоды такой лампы используются для детектирования и для выполнения различных вспомогательных функций, например автоматической регулировки усиления (АРУ), а триоды — для усиления низкой частоты. Примером лампы такого типа может служить двойной диод-триод типа 6Г7.

Существуют также *двойные диод-пентоды,* последовательность функций которых в схемах радиоприемников может быть обратной диод-триоду. Пентодная часть такой лампы может быть применена для усиления промежуточной частоты, а диоды детектируют сигналы, усиленные пентодной частью лампы. У нас выпускаются диод-пентоды 1Б1П и 6Б2П и двойной диод-пентод 6Б8С.

Примером комбинированных ламп с раздельными катодами могут служить некоторые *двойные триоды* — лампы,

представляющие собой соединение в одном баллоне двух триодов. Такие триоды часто делаются с одним общим катодом (вернее их катоды электрически соединены между собой), например двойной триод 6Н7С. Но в некоторых схемах нельзя применить двойные триоды с общим катодом, так как эти триоды должны иметь по условиям схемы совершенно отдельные цепи. К таким лампам относится,



например, двойной триод 6Н8С. Отдельные катоды иногда делают и у двуханодных кенотронов, предназначающихся для работы в выпрямительных схемах, дающих удвоение выпрямленного напряжения. К числу таких кенотронов принадлежит кенотрон 30Ц6С.

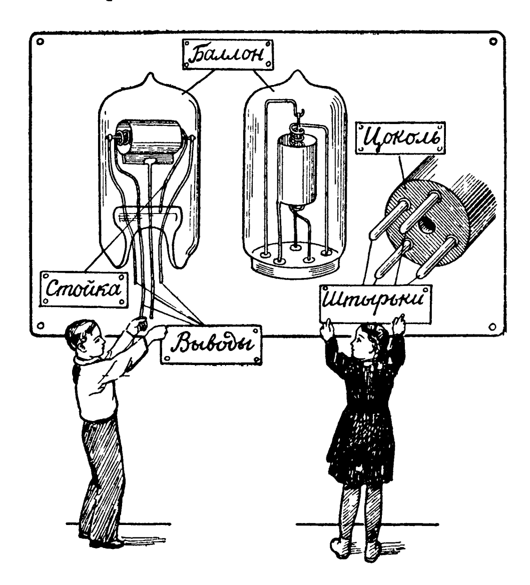
Комбинированные электронные лампы пользуются заслуженным успехом. Применение их расширяется, а число типов возрастает.

КОНСТРУКЦИИ РАДИОЛАМП

Электронные лампы применяются в самой разнообразной аппаратуре: в радиоприемниках, радиопередатчиках, усилителях, измерительных приборах и т. д. Принципы работы ламп во всех случаях остаются одними и теми же, но в зависимости от назначения ламп их конструкция соответственно изменяется. Например, для аппаратуры малой мощности, такой, как радиоприемники, лампы стараются делать возможно меньшего размера. Для мощной трансляционной аппаратуры и для радиопередатчиков применяют лампы

значительно бо́льших размеров, развивающие в анодной цепи гораздо бо́льшую мощность.

За время существования радиоламп их конструкция претерпела серьезные изменения. Первые образцы приемно-усилительных ламп отличались довольно значительными размерами и потребляли очень большой ток накала. По



мере совершенствования конструкции и технологии производства размеры ламп уменьшались, лампы становились более прочными, экономичными, их качество улучшалось. Приемно-усилительные лампы наших дней по своей конструкции очень мало похожи на первые радиолампы, хотя основные принципы их работы не изменились.

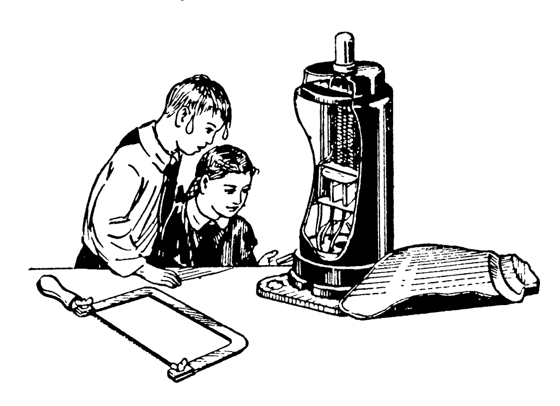
Мы познакомимся вкратце с конструкциями приемно-усилительных электронных ламп, как наиболее известных и распространенных.

Каждая лампа должна иметь *баллон*, внутри которого в безвоздушном пространстве находятся *электроды*, имеющие выводы наружу для подводки питания и соединения со схемой.

Баллоны ламп делают либо из стекла, либо из стали. Электроды крепятся при помощи металлических стоек к стеклянной ножке в нижней части баллона. Кроме того, вверху они поддерживаются обычно при помощи слюдяных

изолирующих шайб, упирающихся своими краями в стенки баллона. Это обеспечивает весьма прочное и жесткое крепление электродов и невозможность их вибрации и смещения относительно друг друга при тряске и ударах. Такая жесткость конструкции является непременным условием хорошего качества лампы, так как от взаимного расположения электродов и расстояния между ними зависят параметры лампы.

От каждого электрода наружу делается вывод. Обычно для выводов используют металлические стойки, крепящие



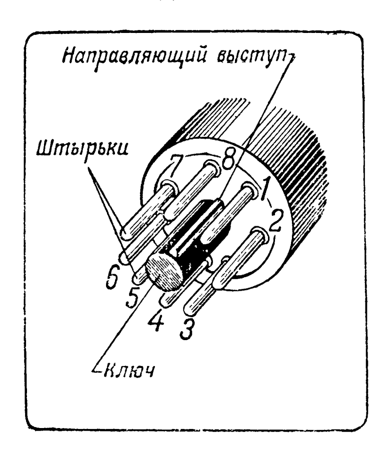
электроды. Выводы проходят сквозь стекло и завариваются в нем так, чтобы проникновение воздуха внутрь баллона было невозможно.

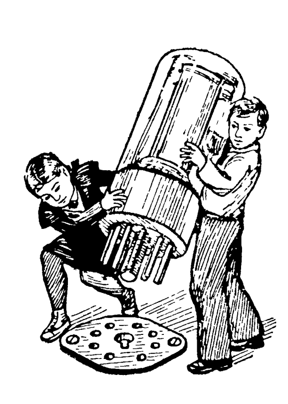
Для крепления ламп в аппаратуре и соединения ламповых электродов со схемой и источниками питания лампы снабжаются *цоколями* из изоляционных материалов с металлическими ножками — *штырьками*. К каждому из штырьков присоединяется вывод одного из электродов лампы, а штырьки вставляются в гнезда *ламповой панельки*, к которым подводятся соответствующие провода.

Цоколь должен быть сконструирован так, чтобы лампу нельзя было вставить в панельку неправильно. Для того чтобы обеспечить правильность вставления штырьков лампы в панельку, применяют два способа. Первый из них состоит в несимметричном расположении штырьков. Второй способ состоит в устройстве на цоколе специального *направляющего ключа*.

Оба эти способа достаточно гарантируют от неправильного вставления лампы в панельку, но второй из них удобнее. Объясняется это тем, что при несимметричном располо-

жении штырьков лампу очень трудно вставить в панельку не глядя. В то же время при установке ламп в аппаратуру часто бывает трудно рассмотреть ламповую панельку. Направляющие ключи очень облегчают такую работу. Ключ цоколя устанавливается в отверстие панельки, и лампу вращают рукой до тех пор, пока выступ ключа не совпадет с пазом в панельке, после чего штырьки лампы легко входят в свои гнезда.



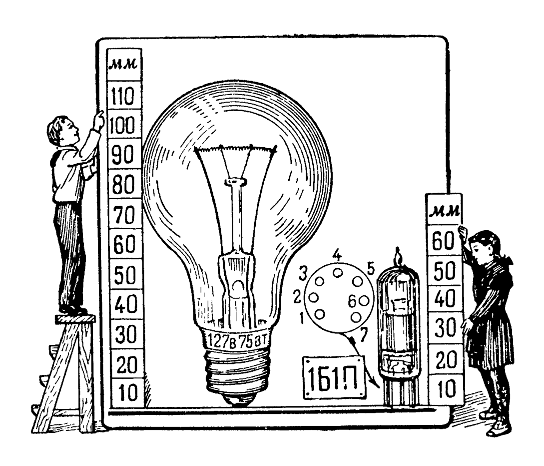


Наибольшее распространение получили лампы с восьмиштырьковым цоколем. Восемь штырьков этого цоколя расположены на равных расстояниях по окружности, а в центре находится ключ — ножка из пластмассы с выступом с одной стороны.

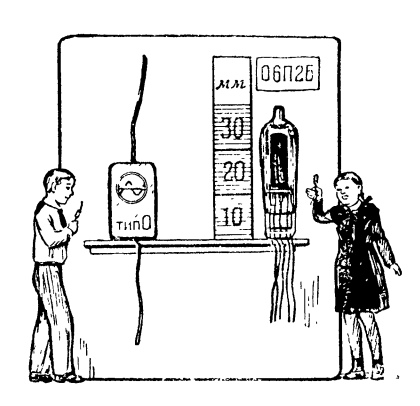
Электроды ламп одного и того же типа всегда совершенно одинаково соединяются со штырьками на цоколе. Порядок соединения электродов лампы со штырьками называют цоколевкой. В описаниях ламп обязательно указывается их цоколевка. По установившемуся обычаю цоколевка на чертежах показывается так, как она выглядит, если смотреть на лампу со стороны цоколя, т. е. снизу.

В последнее время все большее распространение получают очень небольшие по размерам лампы «пальчикового» типа, имеющие такие же параметры, что и значительно превышающие их размерами лампы прежних типов. У этих новых ламп совсем нет отдельных цоколей. Выводы всех электродов укреплены непосредственно на плоском стеклянном дне ламп и выходят наружу в виде тонких, но прочных штырьков.

Малые размеры пальчиковых ламп не позволяют делать на цоколе направляющий ключ. Поэтому у этих ламп применено несимметричное расположение штырьков.



Но и пальчиковые лампы не являются пределом возможного уменьшения величины ламп. Есть сверхминиатюрные лампы, которые в несколько раз меньше пальчиковых.



Их диаметр не превышает толщину карандаша. У такой лампы уже нельзя сделать цоколь со штырьками. Ее выводы осуществляются мягкими проводниками, которые просто припаиваются к соответствующим точкам схемы аппаратуры. Применение таких сверхминиатюрных ламп дает возможность строить чрезвычайно компактную и легкую радиоаппаратуру. Лампы в такой аппаратуре по своим размерам и способу монтажа не отличаются существенно, например, от постоянных конденсаторов малой емкости и сопротивлений.

Полную противоположность таким миниатюрным лампам с точки зрения размеров представляют мощные лампы, применяемые на крупных радиотрансляционных узлах

и на радиопередающих станциях. Катоды этих ламп должны обеспечивать чрезвычайно большую эмиссию, измеряемую уже не миллиамперами, а многими амперами. На анодах их рассеивается мощность в десятки киловатт. Все это приводит к тому, что размеры ламп доходят чуть ли не до человеческого роста.

Огромное количество выделяющегося на анодах тепла приводит к необходимости вводить искусственное охлаждение ламп, и поэтому во всем мире в мощных радиопередатчиках применяются лампы с медными анодами и с водяным охлаждением, изобретенные в 1923 г. М. А. Бонч-Бруевичем.

ЛАМПЫ ДЛЯ СВЕРХВЫСОКИХ ЧАСТОТ

Управление электронным потоком во всех рассмотренных нами лампах производится посредством изменения напряжения на сетке, которая поэтому и называется управляющей. Основным достоинством электронной лампы является мгновенное реагирование анодного тока на все изменения напряжения на сетке.

В течение первых нескольких десятков лет развития радиотехники практически использовались лишь длинные, средние и короткие волны. Частоты, соответствующие этим волнам, таковы, что время пролета электронов в лампе значительно меньше периода применяемых частот. Поэтому электронную лампу можно было считать безинерционным мгновенно реагирующим реле, дающим возможность без всяких затруднений усиливать и генерировать нужные частоты.

В последние десятилетия радиотехника стала переходить на все более короткие волны. При огромных частотах, соответствующих таким волнам, временем пролета электронов в лампе уже нельзя пренебрегать: оно стало соизмеримым с периодом изменения тока сверхвысоких частот. Так, при волне в 1 *м* (частота 300 000 *кгц*) период колебаний становится равным времени пролета электронов от катода до сетки (0,003 *мксек*), а при волне 10 *см* период колебаний уже в 10 раз меньше его.

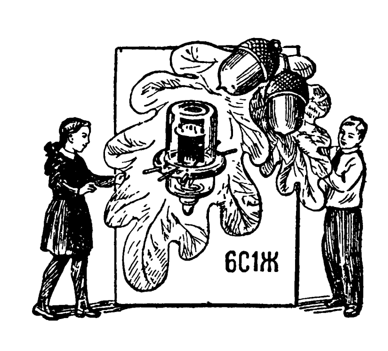
При таких соотношениях этих величин электрон, вылетевший из катода в тот момент, когда сетка заряжена положительно и оказывает притягивающее действие, еще не долетев до сетки, не только перестает испытывать это притяжение, а, наоборот, подвергается отталкивающему или

тормозящему действию сетки, потому что напряжение на сетке успело уже переменить свой знак.

Помимо этой основной причины, использованию на очень коротких волнах ламп обычной конструкции препятствовали также емкости между различными электродами. Даже при небольших значениях этих емкостей их сопротивление для сверхвысоких частот оказывается малым, и это приводит к нарушениям работы схемы, к уменьшению усиления. В еще большей степени отрицательно сказывалась индуктивность выводных проводников.

Меры устранения выявившихся недостатков электронных ламп напрашивались сами собой. Надо по возможности сократить расстояние пролета электронов, тогда и время пролета соответственно уменьшится; конструкцию лампы надо изменить так, чтобы междуэлектродные емкости и индуктивность выводов стали меньше, чем у существующих ламп.

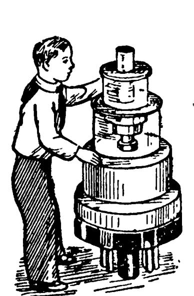
Конструкторы ламп и повели свои разработки именно в этих направлениях. К числу удачных конструкций специально высокочастотных ламп принадлежат так называемые «лампы-желуди». Расстояния между электродами в «желудях» значительно меньше, чем у обычных ламп. Так как цоколи ламп с их длинными параллельно идущими выводами и штырьками способствуют увеличению междуэлектродной емкости и индуктивности выводов, то высокочастотные лампы начали делать совсем без цоколей. У желудей выводы электродов расположены по окружности баллона. В результате всех этих конструктивных мероприятий желуди эффективно работают на волнах примерно до 1 *м* (и даже несколько короче).

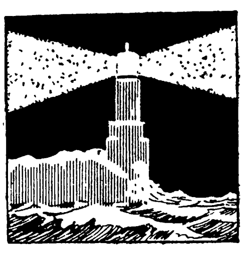


Перейти к еще более высоким рабочим частотам — до волн 10—20 *см* — удалось при помощи «маячковых ламп», конструкция которых была предложена в 1939 г. Н. Д. Девятковым. Своеобразное выполнение катода, сетки, анода и выводов позволило уменьшить в этих лампах влияние указанных выше вредных обстоятельств. Например, выводы от анода и сетки у маячковых ламп сделаны не штырьками,

а представляют собой диски, впаянные в стеклянный баллон.

Но радиотехника сверхвысоких частот, в частности радиолокация, настойчиво требовала еще большего укорочения волн. Кроме того, желуди и маячковые лампы хотя в какой-то степени и разрешали проблему усиления сигналов на волнах метрового и дециметрового диапазонов, но не обеспечивали получения больших колебательных мощностей сверхвысоких частот в передатчиках.





Для решения этой задачи потребовались лампы с принципиально иным способом управления электронным потоком. Первой лампой такого типа явился *магнетрон*. Магнетрон не только лампа, где управление потоком электронов не требует наличия сетки, но он в то же время представляет собой объединение генераторной лампы с колебательным контуром.

Необходимость такого объединения диктуется тем, что на очень коротких волнах параметры колебательных контуров (индуктивность и емкость) должны быть весьма малы. Между тем при применении отдельных колебательных контуров сами соединительные провода между лампой и контуром имеют величины индуктивности и емкости, сравнимые с теми, какими должен обладать сам контур.

У магнетрона всего два электрода: катод и анод, находящийся под напряжением в несколько тысяч вольт. Сетки у магнетрона нет. Во время работы лампа находится в поле мощного постоянного магнита, силовые линии которого направлены параллельно катоду.

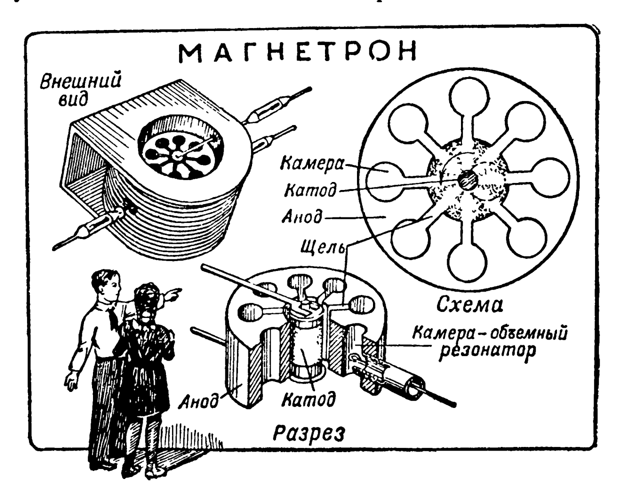
Если бы магнитное поле отсутствовало, то вылетающие из катода электроны, повинуясь действию электрического поля анода, устремлялись к аноду и притягивались им. Но мы знаем (см. стр. 30), что магнитное поле искривляет путь движущихся в нем электронов, если только направление движения электронов не совпадает с направлением магнитных силовых линий.

В магнетроне магнитное поле расположено так, что электроны летят в направлении, перпендикулярном его силовым линиям, поэтому магнитное поле действует на них с наибольшей силой. Это действие выражается в искривлении пути движения электрона. Подбором соотношения между величинами анодного напряжения и магнитного поля можно добиться того, что электроны будут подлетать почти вплотную к аноду, но не смогут достигнуть его, и под действием магнитного поля станут некоторое время двигаться вблизи его поверхности.

Таким образом, в магнетроне создается поток очень быстро летящих электронов, движущихся вдоль поверхности анода на очень малом расстоянии от него. Энергия этих электронов и используется для создания колебаний высокой частоты.

Колебания эти возникают в специальных камерах, носящих название *объемных резонаторов.* Объемный резонатор — колебательный контур для сверхвысоких частот, представляет собой полый металлический цилиндр. Такие контуры были предложены впервые советским ученым М. С. Нейманом. Период электрических колебаний, возникающих в таком объемном разонаторе, определяется его внутренними размерами.

Объемные резонаторы размещаются в толще массивного медного анода магнетрона и окружают внутреннее пространство лампы как бы кольцом камер, соединяющихся с ним узкими щелями. Отсюда и произошло название такой



лампы — многокамерный магнетрон. Идея устройства многокамерных магнетронов была предложена М. А. Бонч-Бруевичем и практически осуществлена Д. Е. Маляровым и Н. Ф. Алексеевым.

Электроны, движущиеся с огромной скоростью вблизи щелей, за счет своей энергии возбуждают в объемных резонаторах электрические колебания. Потеря электронами энергии выражается в некотором уменьшении их скорости и приводит к некоторому уплотнению кольцевого электронного потока в тех его местах, которые взаимодействовали с резонаторами. Частота колебаний, возникших в резонаторах, определяется их размерами. После возникновения колебаний взаимодействие полей резонаторов с потоком движущихся электронов будет зависеть от фазы колебаний. При надлежащем подборе размеров внутренней полости магнетрона, размещения резонаторов и их щелей, а также анодного напряжения и величины магнитного поля уплотнения электронного потока будут пролетать мимо щелей резонаторов как раз в те мгновения, когда создаваемые ими импульсы будут поддерживать возникшие в резонаторах колебания. В результате в объемных резонаторах установятся незатухающие колебания большой мощности.

Совершенно очевидно, что магнетрон может генерировать колебания только одной фиксированной частоты, зависящей от геометрических размеров объемных резонаторов. Колебательная мощность, полученная во всех разонаторах магнетрона, выводится из лампы с помощью специального устройства.

В магнетронах удается получать колебания сверхвысоких частот, соответствующих волнам длиной до 1 *см* и даже несколько короче. Магнетронные генераторы находят себе применение, в частности, в радиолокационных станциях.

Другим прибором, в котором электронная лампа соединена со сверхвысокочастотными колебательными контурами, является *клистрон.*

По общим принципам своей работы клистроны в известной степени подобны магнетронам. В клистронах объемные резонаторы тоже составляют одно целое с лампой, а колебания в них поддерживаются потоком электронов неодинаковой плотности. Однако поток этот не кольцевой, как в магнетронах, а прямолинейный.

Электронный поток в клистронах создается катодом направленного излучения (см. стр. 28). Далее движение электронов ускоряется положительным напряжением специаль-

ного ускоряющего электрода, пролетев через отверстие которого электронный поток имеет вид тонкого сплошного пучка. На своем пути поток электронов встречает полый металлический резонатор и пролетает через его входное и выходное отверстия.

Под воздействием первых же электронов, пролетающих через объемный резонатор, в нем возникают электрические колебания с частотой, определяемой его геометрическими размерами. Эти колебания, взаимодействуя с пролетающим через объемный разонатор пучком электронов, сообщат некоторой части составляющих его электронов добавочное ускорение, другую же часть несколько затормозят. Поэтому после выхода из резонатора электронный поток перестает быть однородным. Он представляет собой ряд чередующихся уплотнений и разрежений, частота чередования которых будет одинакова с частотой колебаний резонатора.

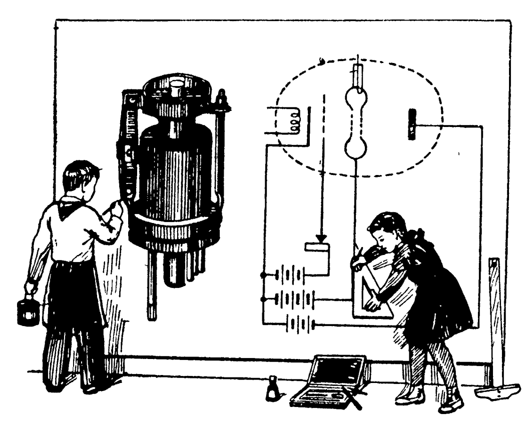
Далее на своем пути электроны встречают второй резонатор и, пролетая через него, вызывают в нем появление колебаний. Так как частота второго резонатора одинакова с частотой первого, то чередование уплотнений и разрежений электронного потока совпадет с собственной частотой резонатора и будет поддерживать начавшиеся колебания. Часть колебательной энергии из этого второго резонатора будет переходить в первый и поддерживать в нем колебания, которые обеспечат создание в электронном потоке сгустков и разрежений соответствующей частоты.

Более простую конструкцию клистрона предложил В. Ф. Коваленко. В его клистроне только один объемный резонатор. Электронный поток, пролетевший сквозь этот резонатор и разделенный им на зоны уплотнений и разрежений, встречает на своем пути электрод, заряженный отрицательно, и, отразившись от него, направляется обратно через резонатор. При правильном подборе напряжений чередование уплотнений и разрежений электронного потока совпадет с собственной частотой резонатора и будет поддерживать в нем незатухающие колебания.

Поскольку в основе работы таких клистронов лежит отражение электронного потока, они получили название *отражательных клистронов*.

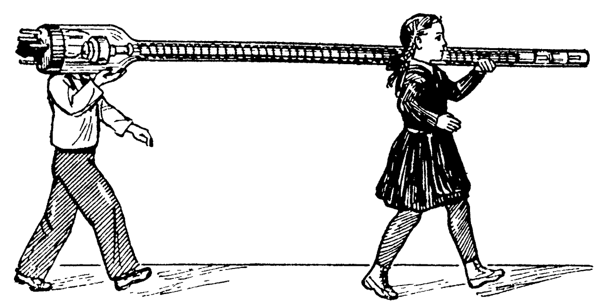
Клистроны, как и магнетроны, могут генерировать колебания только одной частоты, обусловленной размерами их объемных разонаторов. Но у клистронов имеется возможность в небольших пределах подстраивать частоту с помощью внешних средств.

Клистроны применялись до последнего времени главным образом в качестве гетеродинов в приемниках супергетеродинного типа и в измерительной аппаратуре, позволяя получать волны длиной до 1 *см* и даже короче. Однако в последние годы разработаны конструкции мощных клистронов, пригодных для работы в телевизионных передатчиках.



Третьим типом ламп для сверхвысоких частот являются *лампы с бегущей волной*.

В этих лампах используется взаимодействие между электромагнитным полем, распространяющимся вдоль провода, и электронным пучком. Электромагнитное поле распространяется, как известно, со скоростью света, т. е.



~300 000 *км/сек*. Так как электронам в лампе даже при анодных напряжениях в несколько тысяч вольт невозможно сообщить скорость больше примерно $^1/_{10}$ скорости света, то в лампах бегущей волны применен способ, искусственно замедляющий распространение электромагнитной волны. Для этого провод, вдоль которого движется волна, наматывают

в виде спирали. Электромагнитное поле обегает витки этой спирали со скоростью света, но по оси спирали оно перемещается во столько раз медленнее, во сколько раз длина провода витка больше шага спирали. Электронный поток направляется по оси спирали.

В таких условиях скорость электронного потока можно сделать равной скорости распространения электромагнитной волны в направлении оси спирали. Это поле, создаваемое, например, принятым сигналом, воздействует в начальной части спирали на равномерный электронный пучок и вызывает в нем некоторую перегруппировку электронов. При дальнейшем продвижении электронный пучок сам начинает оказывать обратное воздействие на электромагнитное поле, передавая ему часть своей энергии и усиливая его. Усиленное поле в свою очередь увеличивает перегруппировку электронов в пучке и т. д. По мере продвижения поля вдоль спирали оно непрерывно усиливается, и если спираль имеет достаточную длину, то на выходе ее возникает напряжение, значительно превышающее напряжение на входе. Так, например, лампа, имеющая спираль длиной в 60 *см* и диаметром 5 *см* из 420 витков тонкого провода при ускоряющем напряжении в 2 000 *в* дает на волне около 9 *см* усиление по мощности в 14 раз. Такого усиления на этих частотах другие виды ламп не дают.

Лампы с бегущей волной могут быть использованы как для усиления, так и для генерации колебаний сверхвысокой частоты. Такие лампы могут работать не на одной фиксированной волне, а в очень широком диапазоне частот, недостижимом для ламп других конструкций.

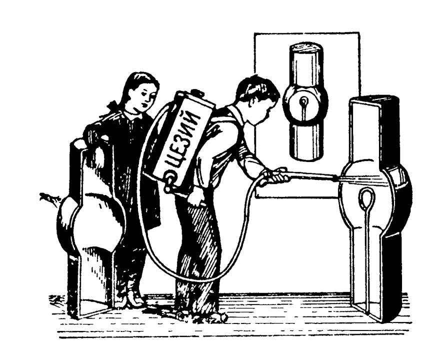
ФОТОЭЛЕМЕНТЫ

Рассмотренные нами до сих пор электронные приборы предназначаются в основном для выпрямления переменных токов, их усиления и генерирования. Нужный для работы этих приборов электронный поток получается от нагрева катода. Появление в подобных приборах электронов иного происхождения, например выбивание вторичных электронов из анодов экранированных ламп, нарушает нормальную работу прибора и требует поэтому борьбы с этим явлением.

Существует, однако, ряд электронных приборов, в которых нужный для их работы электронный поток получается не путем нагрева катода и которые используются не для целей выпрямления, усиления или генерирования переменных токов. К числу их принадлежат фотоэлементы.

Фотоэлементами называются электронные приборы, преобразующие световую энергию в электрическую. Существующие фотоэлементы разделяются на несколько групп в соответствии с особенностями их устройства, принципов их работы и назначения. Мы здесь познакомимся лишь с одним типом фотоэлементов, нашедшим наиболее широкое распространение.

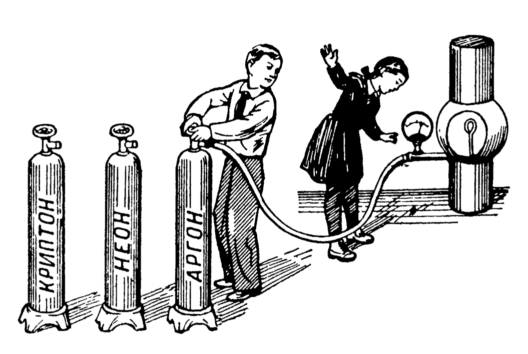
В этих фотоэлементах используется фотоэлектронная эмиссия, о которой было рассказано на стр. 17. Наиболее распространенным материалом для фотокатодов служит цезий, обычно не в чистом виде, а в соединениях с другими веществами. Чаще всего применяются кислородно-цезиевые и сурьмяно-цезиевые катоды.



Основой фотоэлемента служит стеклянный баллон, примерно половина внутренней поверхности которого покрыта светочувствительным слоем и образует фотокатод. Свет, падая через прозрачную часть баллона на фотокатод, вырывает из него электроны, количество которых пропорционально силе света. Для вывода электронов во внешние цепи служит небольшой анод кольцеобразной формы, помещаемый в середине баллона. Кольцеобразная форма придается аноду для того, чтобы он не являлся препятствием для лучей света, падающих на катод. Между катодом и анодом прикладывается напряжение около 150—250 *в*, в результате действия которого все электроны, вырываемые светом из катода, устремляются к аноду и образуют ток во внешней цепи, соединяющей анод с катодом.

Токи, даваемые фотокатодами, очень малы. Чтобы несколько увеличить их, в баллоны фотоэлементов иногда вводят некоторое количество инертного газа, например аргона. Такие фотоэлементы называются *газонаполненными*. Увеличение электронного потока происходит в газонаполненных фотоэлементах в результате ионизации газа. Фотоэлектроны, летящие от катода к аноду, сталкиваются на своем пути с частицами газа и выбивают из них один или несколько электронов. «Выбитые» электроны включаются в общий

электронный поток и устремляются к аноду. В то же время положительные ионы (атомы, потерявшие часть своих электронов) притягиваются к отрицательно заряженному катоду, ударяются об его поверхность и выбивают из нее еще некоторое количество электронов, которые тоже устремляются к аноду. В результате электронный поток в таком газонаполненном фотоэлементе бывает при одинаковой яркости воздействующего света значительно сильнее, чем в вакуум-



ном. В фотоэлементах, содержащих газ под давлением порядка 10^{-2} *мм*, удается получить увеличение тока в 5—8 раз по сравнению с вакуумными фотоэлементами. Газонаполненные фотоэлементы легко отличить от вакуумных по букве Г в их обозначении. Эта буква означает «газонаполненный». Так, например, обозначение ЦГ-3 расшифровывается как цезиевый, газонаполненный, 3-й тип.

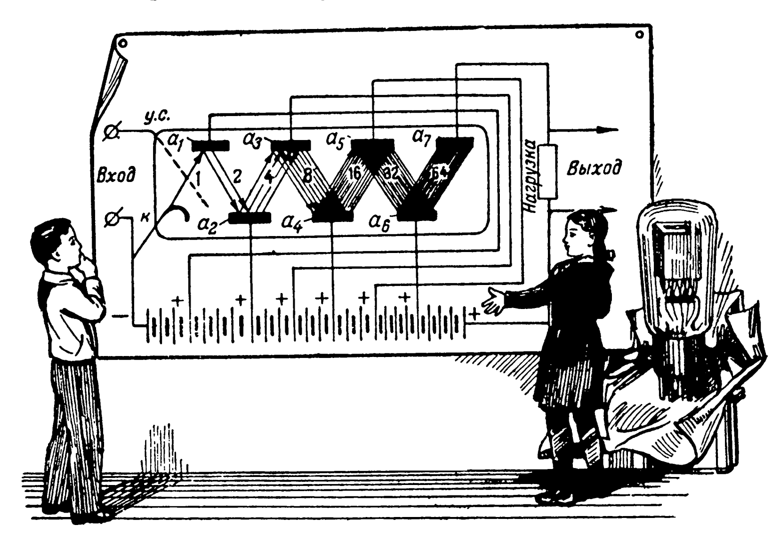
Но даже газонаполненные фотоэлементы дают очень небольшие токи, измеряемые микроамперами. Поэтому для их практического использования необходимо усиление фототока при помощи ламповых усилителей.

В настоящее время известен другой способ значительного увеличения фототоков внутри самих фотоэлементов. Для этой цели используется явление выбивания вторичных электронов (динатронного эффекта), о котором было рассказано на стр. 18. Приборы, работа которых основана на использовании вторичных электронов, называются *электронными умножителями*. Общий принцип устройства таких приборов, предложенных Л. И. Кубецким, сводится к следующему.

В стеклянной трубке, из которой выкачан воздух, расположено несколько электродов ($к$, a_1, a_2 и т. д.), на поверхность которых нанесен слой цезия. Между каждой парой

электродов приложено напряжение, заряжающее последующий электрод положительно по отношению к предыдущему.

Световые лучи падают на электрод $к$ и выбивают с его поверхности электроны, которые устремляются к электроду a_1, заряженному положительно относительно $к$. При ударе о поверхность a_1 каждый электрон может выбить несколько вторичных электронов.



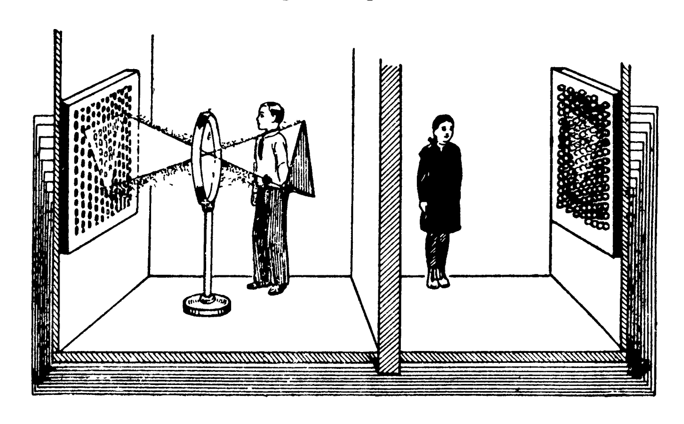
Вторичные электроны, выбитые из a_1, устремляются к a_2 и в свою очередь выбивают из него еще большее количество вторичных электронов. Процесс этот продолжается от электрода к электроду и в результате к последнему из них, играющему роль анода всей системы, приходит гораздо больше электронов, нежели их было выбито светом из первого электрода. Фотоэлектронные умножители подобного рода практически позволяют получать усиление до миллиона раз.

Фотоэлементы находят чрезвычайно широкое применение. В настоящее время выпускают фотоэлементы, чувствительные не только к видимым световым лучам, но и к ультрафиолетовым и инфракрасным, что чрезвычайно расширяет круг их использования. Фотоэлементы являются основной частью аппаратуры звукового кино, где именно они «читают» звуки, записанные в виде фонограммы на киноленте. Столь же важна роль фотоэлементов в фототелеграфии, во многих автоматических устройствах и пр.

Фотоэлементы позволили осуществить величайшее достижение современной техники — телевидение. Однако в телевидении нельзя применить фотоэлементы такого вида, с какими мы только что познакомились. Любой из тех фотоэлементов, о которых мы говорили, реагирует лишь на общую интенсивность падающего на него светового потока. Катод фотоэлемента представляет собой единое целое. Куда бы ни был обращен фотоэлемент и какие бы детали изображения не проектировались на отдельные участки его катода, в цепи этого катода течет один общий суммарный ток. Увеличение или уменьшение фототока сигнализирует только о том, что общая сумма света, падающего на фотоэлемент, изменилась, но оно ничего не говорит о том, как распределяется освещенность по отдельным участкам катода.

Другими словами, фотоэлемент не различает подробностей, он регистрирует лишь суммарную освещенность. Если мы хотим при помощи фотоэлемента видеть, то от каждой отдельной точки изображения надо получать отдельный ток, который не смешивался бы с токами других точек. Так устроен и наш глаз. Сетчатая оболочка глаза, на которую проектируется изображение, представляет собой собрание миллионов светочувствительных окончаний зрительного нерва, причем от каждого из них в мозговые центры идет отдельное нервное волокно, отдельный «провод».

Первоначальные проекты осуществления телевидения предусматривали применение большого числа фотоэлементов, расположенных на плоскости в шахматном порядке. На эту плоскость проектировалось передаваемое изображение. Каждый фотоэлемент воспринимал такое количество света, какое соответствовало спроектированной на него точке изо-



бражения. От всех фотоэлементов шли отдельные провода к усилителям и далее к лампочкам, расположенным в таком же шахматном порядке. Яркость свечения лампочки зависит от количества света, упавшего на фотоэлемент.

Разумеется, такую систему осуществить нельзя. Если применить незначительное количество фотоэлементов и лампочек, то изображение будет слишком грубым. Применение же такого их количества, какое нужно для достаточной четкости передаваемых изображений (несколько сотен тысяч), практически невыполнимо.

Техника решила эту задачу иначе. Основой современной передающей телевизионной трубки, которую называют *иконоскопом*, является *мозаичный фотокатод*. Его основой служит слюдяная пластинка, покрытая огромным количеством изолированных друг от друга зерен серебра величиной примерно около 0,01 *мм*. Эти зерна покрываются металлом цезием, обладающим большой светочувствительностью, после соответствующей обработки каждое такое зерно становится самостоятельным фотоэлементиком. В результате получается *мозаика* из миллионов микроскопических фотоэлементов.

Естественно возникает вопрос, а как же быть с проводами? Устройство фотомозаики решает только половину задачи, ведь основная трудность заключается в соединении всех этих миллионов отдельных фотоэлементиков с дальнейшими телевизионными устройствами.

Эта задача была решена остроумно и просто с помощью электронно-лучевых трубок.

ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВЫЕ ТРУБКИ

Фотоэлементы служат для преобразования световой энергии в электрическую. В фотоэлементах с внешним фотоэффектом, о которых говорилось выше, для этого преобразования использовалось явление выбивания электронов с поверхности металлов при воздействии на них световых лучей.

Однако, как было уже указано на стр. 11, возможно и обратное преобразование — электрической энергии в световую. Если электрон, находящийся на какой-либо из внутренних электронных оболочек атома, получит откуда-либо дополнительную энергию, то он приходит, как иногда говорят, в возбужденное состояние, которое может, например, выразиться в том, что этот электрон переместится на соседнюю оболочку. Но в таком неуравновешенном состоянии

атом долго находиться не может. Смещенный электрон возвращается на свое место и при этом отдает избыток энергии в виде излучения определенной порции света.

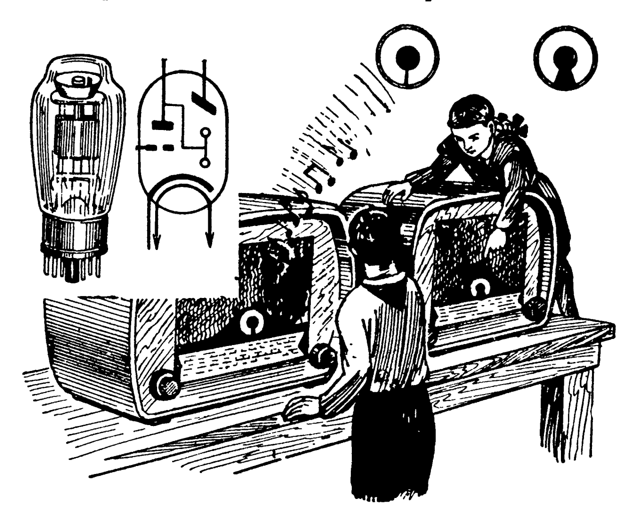
Сообщение электронам внутренних оболочек атома дополнительной энергии, приводящей к излучению атомом света, может происходить при различных обстоятельствах и, в частности, при столкновении быстро летящего электрона с атомом. Атомы некоторых веществ начинают излучать свет при ударах электронов, движущихся сравнительно не очень быстро, причем цвет свечения зависит от рода вещества.

Такое свечение под воздействием ударяющегося потока электронов довольно часто наблюдается у выходных усилительных ламп, имеющих стеклянные баллоны. Сквозь эти баллоны бывает видно, что около анода имеется свечение синевато-фиолетового цвета, причем яркость свечения изменяется в такт с передачей (музыкой и речью). Это свечение объясняется случайным попаданием на аноды при изготовлении лампы посторонних веществ (обычно оксидов с катода), которые и светятся при облучении их потоком электронов (анодным током лампы). Так как величина анодного тока изменяется в такт с передачей, то соответственно колеблется и яркость свечения.

Свечение вещества при облучении его электронным потоком используется в общеизвестной электронной лампе — *оптическом индикаторе настройки* (лампа 6Е5С). Экран этой лампы, имеющий вид конуса, покрыт виллемитом, который светится ярким зеленым светом при облучении его электронным потоком.

Экран лампы находится под полным напряжением источника анодного тока. На пути электронного потока к экрану с одной стороны катода находится плоский управляющий электрод — нож, напряжение которого одинаково с напряжением на аноде лампы. Свечение сектора экрана, находящегося за управляющим электродом, зависит от соотношения напряжений на экране и на этом электроде. Если эти напряжения одинаковы, то сектор, находящийся за управляющим электродом, светится так же, как и весь остальной экран. Если напряжение на управляющем электроде уменьшается, то на находящейся за ним части экрана получается затемненный сектор, потому что количество попадающих туда электронов уменьшается. Ширина затемненного сектора зависит от величины напряжений на управляющем электроде.

Так как управляющий электрод соединен с анодом, а напряжение на аноде зависит от силы принимаемых сигналов, то по ширине затемненного сектора можно судить о точности настройки приемника. При отсутствии настройки темный сектор оптического индикатора наиболее широк.



Когда настройка приемника совпадает с частотой работающей станции, то темный сектор начинает сужаться. При точной настройке на станцию он максимально узок.

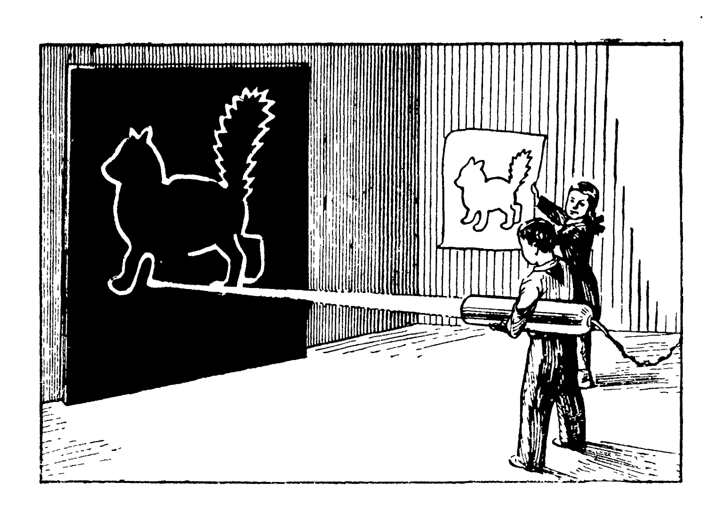
Оптические индикаторы настройки служат примером наиболее простого использования преобразования энергии летящих электронов в световую энергию. Значительно сложнее использование этого преобразования в электронно-лучевых трубках.

Электронно-лучевую трубку можно охарактеризовать, как прибор для рисования электронным лучом световых рисунков на экране, обладающем способностью светиться в том месте, на которое падает электронный луч. Следовательно в электронно-лучевой трубке должны быть экран, покрытый соответствующим веществом, и устройства для получения потока электронов, формирования и перемещения электронного луча.

Внешне электронно-лучевая трубка представляет собой стеклянный (иногда металлический) конус с почти плоским стеклянным дном, которое и является *экраном*. От узкого конца конуса отходит цилиндрическая трубка-горловина, заканчивающаяся цоколем. Одной из характеризующих

электронно-лучевую трубку величин является диаметр экрана, выраженный в сантиметрах. Наиболее распространенные электронно-лучевые трубки имеют экраны диаметром от 10 до 30 *см* и более.

Дно трубки, т. е. ее экран, изнутри покрыто составом, светящимся под воздействием ударяющихся электронов. Бо́льшая часть современных электронно-лучевых трубок для

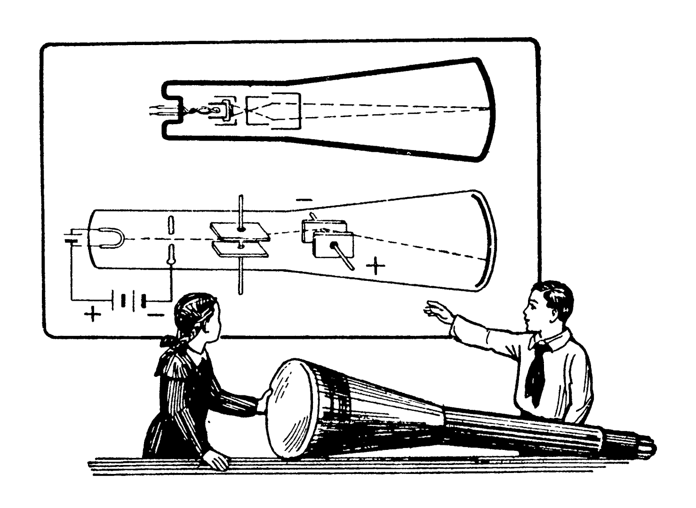


телевидения делается с чисто белым свечением экрана. В трубках для измерительной и другой аппаратуры экраны имеют зеленое или синее свечение.

Источником электронов является торцевая часть подогревного катода, выполненная в виде лунки. Такой катод сам по себе излучает электроны сравнительно узким пучком. По выходе из катода пучок электронов пролетает через узкое отверстие управляющего электрода, имеющего отрицательный заряд, и сжимается еще больше. Далее пучок электронов встречает на своем пути электронные линзы (см. стр. 28) и фокусируется в очень тонкий луч, диаметр которого не превышает долей миллиметра.

Такой тонкий луч, ударяясь об экран, вызывает свечение одной его точки. Изменяя величину отрицательного напряжения на управляющем электроде, можно менять интенсивность луча и, следовательно, яркость свечения точки на экране, так как эта яркость тем больше, чем сильнее ударяются электроны об экран.

Однако сама по себе возможность получения на экране одной неподвижной светящейся точки и изменения яркости ее свечения еще не представляет большой практической ценности. Необходимо еще перемещать светящуюся точку в любое место экрана, для чего нужны электроды, позволяющие отклонять электронный луч как в горизонтальном, так и в вертикальном направлениях.

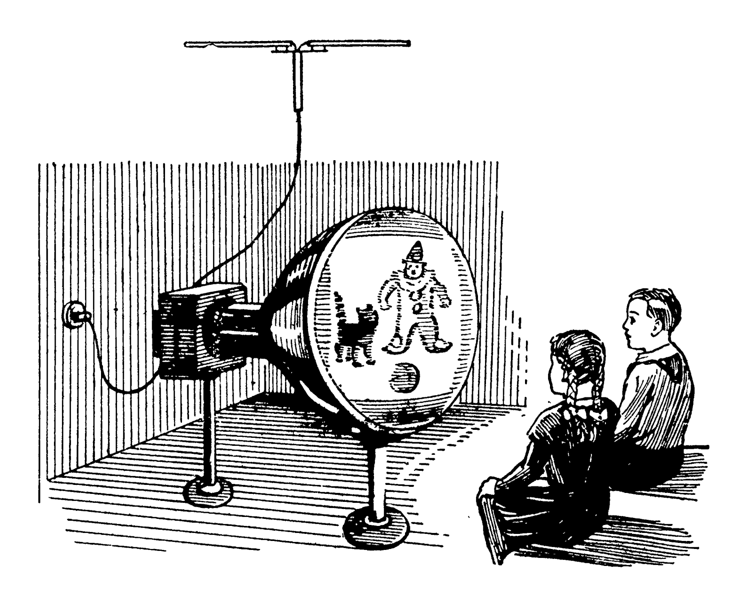


Для этой цели применяются электростатические или электромагнитные отклоняющие системы (см. стр. 28). В зависимости от рода фокусирующих и отклоняющих систем электронно-лучевые трубки бывают с электростатической фокусировкой и отклонением, с электромагнитной фокусировкой и отклонением или же со смешанным управлением (фокусировкой электростатической, а отклонением электромагнитным). Электроды электростатической системы фокусировки и отклонения электронного луча помещены внутри колбы электронно-лучевой трубки. Катушки магнитной фокусировки и отклоняющие катушки электромагнитной системы отклонения помещают снаружи трубки, на ее удлиненной горловине.

Электронно-лучевая трубка является основной частью приемного аппарата — телевизора. В телевизорах на отклоняющие системы подаются такие напряжения, которые заставляют луч прочерчивать на экране горизонтальные строки, покрывая ими весь экран сверху донизу. Это прочер-

чивание производится с огромной скоростью (точка движется по экрану быстрее винтовочной пули).

В принятой у нас в СССР системе телевидения электронный луч при передаче каждого отдельного изображения (кадра) прочерчивает на экране 625 строк, причем в секунду передается 25 таких кадров. Благодаря тому, что наш глаз обладает способностью удерживать в течение

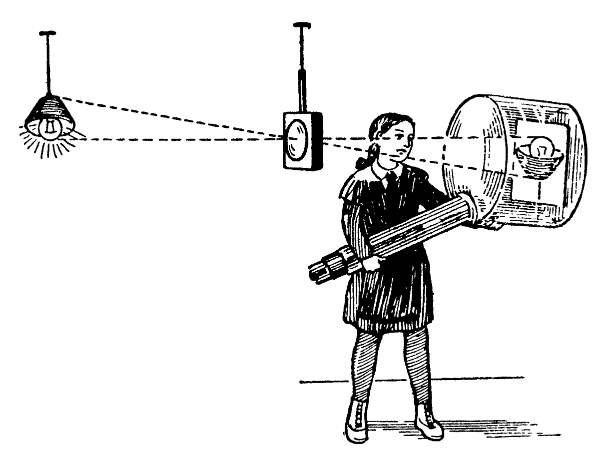


примерно $^{1}/_{15}$ сек. полученное впечатление, движение точки по экрану сливается для нас в сплошные линии, равномерно покрывающие весь экран.

Если, осуществив такое прочерчивание экрана последовательными строками, менять величину напряжения на управляющем электроде, то будет соответственно изменяться и интенсивность электронного луча. Те точки экрана, которые пробегает ослабленный луч (при увеличении отрицательного напряжения на управляющем электроде) будут светиться менее ярко или даже совсем не будут светиться, т. е. экран в этом месте будет казаться темным. Те же точки экрана, которые луч будет пробегать при уменьшении отрицательного напряжения на управляющем электроде, т. е. на которые попадет луч усиленный, будут светиться ярче. Соответствующим образом и в нужные моменты меняя интенсивность бегающего по экрану электронного луча,

можно заставить его «нарисовать» на экране передаваемое изображение. Таким образом, электронно-лучевая трубка преобразовывает электрические импульсы в видимое нашим глазом изображение.

Устройство передающей телевизионной электронно-лучевой трубки, о которой говорилось на стр. 93, в некоторых чертах подобно устройству приемной трубки. В передающей трубке также есть направленный излучатель электронов,



фокусирующая и отклоняющая системы. Электронный луч, как и в приемной трубке, обегает строка за строкой весь экран. Но в этой трубке электронный луч не «рисует» изображение, а «снимает» его с фотомозаики, на которую спроектировано передаваемое изображение. В трубке, позади слюдяной пластины с фотомозаикой, находится металлическая (сигнальная) пластина, имеющая вывод наружу. Каждый элементарный фотоэлементик мозаики образует с этой металлической пластиной конденсатор. Под воздействием падающих на фотомозаику световых лучей изображения из фотоэлементов вырываются электроны, и их тем больше, чем ярче та точка изображения, которая спроектирована на данный фотоэлемент. Такая потеря электронов представляет собой заряд конденсатора, обкладками которого являются фотоэлемент и металлическая пластина. Чем больше электронов вырвано из данного фотоэлемента, тем больше заряд такого конденсатора.

Электронный луч трубки, обегая фотомозаику последовательными строками, своими электронами компенсирует потерю электронов у каждого фотоэлемента. Чем больше

электронов потерял фотоэлемент, тем больше их должно быть возвращено для разряда конденсатора фотоэлемент — сигнальная пластина. При этом в цепи сигнальной пластины возникают импульсы, интенсивность которых пропорциональна числу «возвращаемых» электронов.

Эти импульсы и представляют собой телевизионные сигналы, которые усиливаются, излучаются передатчиком, принимаются приемником и управляют в нем интенсивностью электронного луча, обегающего экран приемной электронно-лучевой трубки.

Таким образом, электронно-лучевые трубки являются первым и последним звеньями сложнейшей приемо-передающей телевизионной аппаратуры, дающей нам возможность, не выходя из дому, присутствовать в театрах, концертных залах, на стадионах и пр.

Электронно-лучевые трубки принципиально подобного же устройства находят широкое применение в измерительной, локационной, медицинской, счетной и многочисленной другой точнейшей и важнейшей современной аппаратуре.

Электронно-лучевые трубки непрерывно совершенствуются, видоизменяются, области их применения расширяются. При помощи электронно-лучевых трубок можно решать самые различные задачи. Например, созданы электронно-лучевые коммутаторы — своего рода электронные переключатели. В таких трубках электронный луч обегает дно трубки по кругу, на котором находятся контакты, имеющие вывод наружу. В те мгновения, когда электронный луч падает на контакт, он замыкает определенную цепь. Электронный луч можно заставить обегать контакты с любой скорастью и совершать миллионы переключений в секунду. Никакими другими средствами невозможно обеспечить такие скорости.

Электронно-лучевые трубки других типов применяют в так называемых «запоминающих системах». В современных счетно-вычислительных машинах необходимы устройства, которые «запоминали» бы исходные данные и промежуточные итоги вычислений, удерживая их до тех пор, пока они не понадобятся по ходу решения задачи. Для этой цели применяются особого устройства электронно-лучевые трубки. Сведения, подлежащие «запоминанию», фиксируются по определенной системе электронным лучом на экране трубки и удерживаются там в виде зарядов. В нужный момент электронный луч «прочитывает» записанное, и требуемые сведения в виде электрических импульсов поступают в соответствующие органы аппарата.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В этой книге читатель в общих чертах познакомился с основными положениями электроники и главнейшими видами электронных приборов.

На самом деле их значительно больше.

К электронным приборам относятся, например, электронные микроскопы с их гигантским увеличением, так раздвинувшим возможности нашего познания. К ним принадлежат рентгеновские трубки, широко используемые в медицине и технике.

Электроника охватывает также большую группу приборов полупроводникового типа, в которых движение электрических зарядов происходит не в вакууме или газе, а в полупроводниках. К их числу относятся, например, купроксные и селеновые выпрямительные элементы, кристаллические детекторы-диоды и кристаллические триоды, которые уже теперь в ряде случаев начинают конкурировать с электронной лампой. К ним причисляются и полупроводниковые фотоэлементы с внутренним фотоэффектом, наиболее известным представителем которых является селеновый фотоэлемент для фотоэкспонометров — определителей продолжительности выдержки при фотосъемке.

Интереснейшим разделом электроники является тот ее раздел, в котором рассматриваются явления переноса изображений с одной поверхности на другую. В одних случаях такой перенос изображений применяется для их усиления, как, например, в некоторых образцах передающих телевизионных трубок, в других случаях он оказывается необходимым для превращения невидимого изображения в видимое, как это делается в установках ночного видения, позволяющих видеть предметы, облученные, например, инфракрасными невидимыми глазом лучами.

Исключительно велика роль электроники в народном хозяйстве. Как на один из примеров можно указать на огромное значение электроники в автоматизации производства. В нашей социалистической промышленности все шире внедряется автоматизация. От отдельных автоматических станков промышленность переходит к автоматическим линиям, из автоматических линий рождаются целиком автоматизированные заводы — нигде до этого невиданные заводы-автоматы. Эти заводы обслуживаются многочисленными и разнообразными электронными приборами. Без электроники невозможно осуществить автоматизацию в сколько-нибудь широких масштабах.

Сложнейшие автоматические электронные устройства водят самолеты по заданному курсу, их называют обычно автопилотами. Другие электронные автоматы дежурят на электростанциях и управляют энергетическими системами.

Число электронных приборов растет с каждым годом, а круг их применений непрерывно увеличивается. Электроника становится важнейшей областью науки и техники. Два достижения огромнейшей значимости характерны для первой половины нашего столетия — начало овладения энергией атомного ядра и развитие электроники — электронной техники, причем достижения в области ядерных преобразований были в основном подготовлены развитием электроники.

Электронная и атомная техника по своему совершенству и своим возможностям резко отличается от остальных «старых» видов техники. Эту новую технику мы можем с полным правом назвать техникой будущего, техникой, которая найдет широчайшее применение в коммунистическом обществе.

СОДЕРЖАНИЕ

К ЧИТАТЕЛЯМ

Выпуски массовой радиобиблиотеки служат важному делу пропаганды радиотехнических знаний среди широких слоев населения нашей страны и способствуют развитию радиолюбительства. В свете этих задач большое значение имеет привлечение радиолюбительской общественности к критике каждой вышедшей книги и брошюры.

Редакция массовой радиобиблиотеки обращается к читателям данной книги с просьбой прислать свои отзывы, пожелания и замечания вместе с краткими сообщениями о своем образовании, профессии, возрасте и радиолюбительском опыте по адресу: Москва, Шлюзовая набережная, д. 10. Редакция массовой радиобиблиотеки Госэнергоиздата.

Цена 2 р. 40 к.